



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS
INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN

TRABAJO FIN DE GRADO

Titulación:

GRADO EN INGENIERÍA EN TÉCNOLOGÍAS INDUSTRIALES
(MENCION MECÁNICA)

Título del proyecto:

**“DISEÑO DE UN TROQUEL PROGRESIVO PARA LA
FABRICACIÓN DE DISCOS DE FRENO DE BICICLETA”**

Alvaro Olcoz Alonso

Tutora: Sara Marcelino Sadaba

Pamplona, Junio 2016



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS
INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN

TRABAJO FIN DE GRADO

Titulación:

GRADO EN INGENIERÍA EN TÉCNOLOGÍAS INDUSTRIALES
(MENCIÓN MECÁNICA)

Título del proyecto:

“DISEÑO DE UN TROQUEL PROGRESIVO PARA LA
FABRICACIÓN DE DISCOS DE FRENO DE BICICLETA”

DOCUMENTO 1: MEMORIA

Alvaro Olcoz Alonso

Tutora: Sara Marcelino Sadaba

Pamplona, Junio 2016



ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN.....	6
LABURPENA.....	7
ABSTRACT.....	8
1. INTRODUCCIÓN.....	9
1.1. DEFINICIÓN DEL PROYECTO.....	9
1.2. ALCANCE DEL PROYECTO.....	9
1.3. ANTECEDENTES.....	9
2. ESTUDIO DE LA PIEZA A FABRICAR.....	10
2.1. DESCRIPCIÓN DE LA PIEZA.....	10
2.2. MATERIAL EMPLEADO.....	11
3. ALTERNATIVAS EN EL PROCESO DE FABRICACIÓN.....	12
3.1. CORTE POR LASER.....	12
3.2. CORTE POR PLASMA.....	13
3.3. CORTE POR CHORRO DE AGUA ABRASIVO.....	14
4. PROCESO DE FABRICACIÓN ELEGIDO: CORTE POR TROQUELADO	15
4.1. DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS.....	15
4.2. REPASO HISTÓRICO.....	16
4.3. TIPOLOGÍA DE TROQUELES.....	17
4.4. ELECCIÓN DEL TIPO DE TROQUEL.....	18
5. SISTEMA DE ALIMENTACIÓN.....	19
5.1. TIPOS DE SISTEMAS DE ALIMENTACIÓN.....	19
5.1.1. Avance manual.....	19
5.1.2. Avance semiautomático.....	20
5.1.3. Avance automático.....	20
5.2. SISTEMA DE ALIMENTACIÓN ELEGIDO.....	22
6. ANIDAMIENTO O NESTING. APROVECHAMIENTO DE LA CHAPA.....	24
6.1. DISTANCIA DE SEPARACIÓN ENTRE PIEZAS.....	24
6.2. DETERMINACIÓN DEL PASO.....	24
6.3. APROVECHAMIENTO DE LA BANDA DE CHAPA.....	24



6.4.	DISPOSICIÓN DE LAS PIEZAS SOBRE LA BANDA DE CHAPA	25
6.4.1.	Disposición lineal	26
6.4.2.	Disposición al tresbolillo.....	28
6.4.3.	Resultados obtenidos.....	30
6.5.	DISPOSICIÓN ELEGIDA. JUSTIFICACIÓN.....	31
7.	ETAPAS EN EL PROCESO DE TROQUELADO	32
8.	DISEÑO DEL TROQUEL DE MATRIZ PROGRESIVA	33
8.1.	CONTENEDOR	37
8.2.	PLACA BASE INFERIOR	38
8.3.	PLACA MATRIZ.....	39
8.4.	GUÍAS DE BANDA	40
8.5.	PLACA PISADORA	41
8.6.	PLACA GUÍA PUNZONES	42
8.7.	PUNZONES	43
8.7.1.	Punzón tipo A.....	43
8.7.2.	Punzón tipo B.....	44
8.7.3.	Punzón tipo C.....	45
8.7.4.	Punzón tipo D.....	45
8.7.5.	Punzón tipo E.....	46
8.8.	PLACA PORTA PUNZONES	47
8.9.	PLACA SUFRIDERA.....	48
8.10.	PLACA SUPERIOR.....	49
8.11.	ELEMENTOS COMERCIALES	50
8.11.1.	Vástago.....	50
8.11.2.	Columnas guía.....	51
8.11.3.	Casquillos guía	51
8.11.4.	Muelles	52
8.11.5.	Topes guía	52
8.11.6.	Tornillos	53
8.11.7.	Pasadores	53
9.	PRESUPUESTO	54



10. LA PRENSA	55
10.1. TIPOS DE PRENSAS	55
10.1.1. Prensas de accionamiento mecánico	56
10.1.2. Prensas de accionamiento hidráulico	57
10.2. ELECCIÓN DE LA PRENSA.....	59
11. ASPECTOS MEDIOAMBIENTALES.....	60
12. CONCLUSIONES Y LINEAS FUTURAS.....	61
13. NORMATIVA	62
14. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	63



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Disco de freno a fabricar	10
Figura 1.2. Corte por láser	12
Figura 1.3. Corte por plasma	13
Figura 1.4. Corte por chorro de agua con abrasivo.....	14
Figura 1.5. Operaciones realizables mediante troquelado	15
Figura 1.6. Línea temporal de la edad de los metales del mundo antiguo.....	16
Figura 1.7. Ejemplo de troquel progresivo	18
Figura 1.8. Fabricación de arandelas por troquelado con alimentación manual.....	19
Figura 1.9. Alimentador mecánico de rodillos.....	20
Figura 1.10. Máquina devanadora	20
Figura 1. 11. Máquina aplanadora	20
Figura 1.12. Alimentador de tipo neumático	23
Figura 1.13. Etapas en el proceso de troquelado de la pieza	32
Figura 1. 14. Subconjunto inferior.....	33
Figura 1.15 Subconjunto central	34
Figura 1.16. Subconjunto superior.....	35
Figura 1.17. Unión de partes móviles del troquel.....	35
Figura 1.18. Troquel de matriz progresiva	36
Figura 1.19. Contenedor	37
Figura 1.20. Placa base inferior	38
Figura 1.21. Placa matriz	39
Figura 1.22. Guía de banda superior.....	40
Figura 1.23. Guía de banda inferior	40
Figura 1.24. Placa pisadora.....	41
Figura 1.25. Placa guía punzones	42
Figura 1. 26. Diseño previo de Punzón tipo A.....	44
Figura 1.27. Diseño final de Punzón tipo A	44
Figura 1.28. Punzón tipo B	44
Figura 1.29. Punzón tipo C.	45



Figura 1. 30. Punzón tipo D	45
Figura 1.31. Punzón tipo E	46
Figura 1.32. Placa porta punzones	47
Figura 1.33. Placa sufridera	48
Figura 1.34. Placa superior	49
Figura 1.35. Diámetro del vástago en función de la fuerza de la prensa	50
Figura 1.36. Vástago de sujeción DIN 9859.....	51
Figura 1.37. Casquillo guía Ø40x65 diseñado en SolidWorks.....	52
Figura 1.38. Tope guía M16x60 diseñado en SolidWorks	53
Figura 1.39. Pasador paralelo DIN 6325	53
Figura 1.40. Ejemplo: Prensa mecánica de 100 toneladas.....	55
Figura 1. 41. Mecanismo biela-manivela	55
Figura 1. 42. Mecanismo excéntrica-biela	55
Figura 1.43. Prensa mecánica de volante lateral y doble montante.....	57
Figura 1.44. Prensa hidráulica de simple efecto	58
Figura 1.45. Prensa hidráulica de doble efecto.....	58
Figura 1.46. Ejemplo del tipo de prensa elegida.....	59

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Propiedades mecánicas del material empleado.....	11
Tabla 1.2. Composición química del material empleado.....	11
Tabla 1.3. Resultados para disposición lineal	30
Tabla 1.4. Resultados para disposición tresbolillo.....	30
Tabla 1.5. Características de la disposición elegida.....	31
Tabla 1.6. Coste del troquel diseñado	54



RESUMEN

El presente proyecto se presenta como **Trabajo Fin de Grado** (12 ECTS) para optar al título de **Graduado en Ingeniería de Tecnologías Industriales**. En él se describe el proceso de **diseño** de un **troquel de matriz progresiva** para la fabricación de una pieza del sector deportivo: un disco de freno para bicicletas de montaña.

El proyecto comienza con el estudio de la pieza a fabricar, y tras evaluar las distintas alternativas para su fabricación se describe el proceso de fabricación elegido: el **troquelado de matriz progresiva**. A continuación, se describen los diferentes sistemas actuales de avance de chapa y en base al sistema más adecuado para el proceso se estudia la optimización de la banda de chapa, para así obtener un rendimiento que garantice la viabilidad económica del proyecto.

En el **diseño** del troquel de matriz progresiva intervienen tanto elementos exclusivos que tienen su **plano de fabricación**, como elementos normalizados o comerciales (tornillos, muelles...). Para realizar el diseño se han consultado los espesores de placas recomendados y se han desarrollado una serie de cálculos previos. El diseño se lleva a cabo con la herramienta de CAD *SolidWorks 2016*.

Mediante un estudio de los diferentes tipos de **prensa** y sus características se ha deducido cual es el más apropiado para este proceso.

Las piezas más críticas (punzones) se han sometido a ensayos mediante el **Método de Elementos Finitos** (FEM) con la ayuda del software *Marc Mentat 2014*, que nos da una idea de las tensiones a las que están sometidos durante los ciclos de trabajo. A partir de los resultados obtenidos se estudian las dos causas de fallo más comunes de los punzones: la **fatiga** y el **desgaste adhesivo**.

El proyecto también incluye el **presupuesto**, que contempla los costes de oficina técnica, los costes de los elementos comerciales, los costes de los elementos a fabricar y los costes de montaje, pruebas y mantenimiento.

Por último, se establecen las medidas de **seguridad** y las directrices de **mantenimiento** que deberán cumplirse para garantizar la seguridad de los operarios y el correcto funcionamiento de todos los elementos que forman parte del troquel de matriz progresiva.



LABURPENA

Proiektu hau **Gradu Amaierako Lan** (12 ECTS) bezala aurkezten da **Industria Teknologia Ingeniaritzan Graduatu** titulua eskuratu ahal izateko. Honetan, mendizko txirrinduletako disko frenoak fabrikatzeko balio duen matrize jarraituko trokel baten **diseinua** deskribatzen da.

Hasteko, fabrikatu beharreko pieza aztertzen da, eta hau egiteko dauden aukerak baloratu ondoren aukeratutako fabrikazio prozesua aurkezten da: **matrize jarraituzko trokel bidezko konformazioa**. Ondoren, gaur egun xafla banda aurrera egiteko dauden aukeretatik prozesu honetara hobekien moldatzen dena aukeratu eta xaflaren optimizazioa ikertzen da, prozesua ekonomia ikuspuntutik bideragarria izan dadin

Diseinuan bi motatako elementuak agertzen dira: bere **fabrikazio planoak** behar dituzten elementu bereziak eta elementu komertzial estandarizatuak (torlojuak, malgukiak...). Diseinua aurrera eramateko plaka ezberdinen lodieren gomendioak kontsultatu dira eta zenbait aurre kalkulu egin dira. Diseinua *SolidWorks 2016* CAD programa informatikoarekin egin da.

Prentsa mota desberdinak eta haien ezaugarriak ikertu eta prozesu honetarako aproposena aurkitu da.

Mekanikoki gehien sufritzen duten elementuek (puntoiek) **Elementu Finituen Metodoaren** bidez aztertu dira, *Marc Mentat 2014* programaren bidez. Honen bidez lan egoeran jasaten duten tentsioei buruz informazioa lortzen dugu. Lortutako datuekin puntzoiaren apurketa kausa nagusiak aztertzen dira: **nekea** eta **adesio higadura**.

Proiektuaren **aurrekontua** ere aurkezten da, zeinean bulego teknikoko kostua, elementu komertzialen kostua, fabrikatu beharreko elementuen kostua eta muntaia, froga eta mantentze lanen kostuak desberdintzen dira.

Azkenik, **segurtasun arauak** eta **mantentze lanak** aurrera eramateko ildoak ematen dira. Honen bidez, langileen segurtasuna bermatu eta diseinatutako trokelaren elementu guztien funtzionamendu ona ahalbidetzen da.



ABSTRACT

This project is presented as **End of Degree Work** (12 ECTS) to qualify for the title of **Graduate in Industrial Technologies Engineering**. It describes the **design** process of a **progressive die** for the manufacture of a piece of the sports industry: a brake disc for mountain bikes.

The project begins with the study of the element to manufacture, and after evaluating the alternatives for its manufacture, chosen manufacturing process is described: the **progressive die stamping**. Then, different current systems of sheet advance are described and after choosing the most suitable system for the process, the optimization of the sheet band is studied in order to achieve a performance value that ensures the economic viability of the project.

The **design** of the progressive die involves both exclusive items that have their **blueprint**, as standardized or commercial elements (screws, springs...). To make the design, the recommended thickness of plates is viewed and a series of previous calculations have been developed. The design is carried out with the CAD tool *SolidWorks 2016*.

After a study of the different types of **presses** and their characteristics, it has been deduced which is most appropriate for this process.

The most critical parts (punches) have been tried by **the Finite Elements Method (FEM)** with the help of *Marc Mentat 2014* software, which gives us an idea of the stresses to which they are subjected during working cycles. From the results obtained, the two most common causes of failure of punches can be studied: the **fatigue** and **adhesive wear**.

The project also includes the **budget**, which divides technical office costs, the costs of commercial items, the costs of items to manufacture and installation, testing and maintenance costs.

Finally, the **security** measures and guidelines of **maintenance**, that must be met to ensure the safety of operators and the correct functioning of all the elements that are part of the progressive die, are described.



1. INTRODUCCIÓN

1.1. DEFINICIÓN DEL PROYECTO

La **idea** del presente proyecto nace debido al aumento de la demanda de discos de freno de bicicleta en los últimos años y al alto valor añadido que estos adquieren en su conformación. Se ha encontrado la **oportunidad** de fabricar de discos de freno de acero inoxidable mediante un proceso de fabricación sencillo y que requiera una inversión inicial relativamente pequeña.

El proyecto se justifica para una tirada de rango medio, de **20.000 unidades**, y puede ir **dirigido** a dos tipos diferentes de empresas:

- a) Una empresa fabricante de componentes y accesorios de bicicleta, que desee añadir una línea de producción de discos de freno instalando una unidad de matricería.
- b) Una empresa dedicada a la matricería, que desee incluir discos de freno como nuevo producto a fabricar.

El **objetivo** de este proyecto es **doble**:

- 1) **Diseñar** un utillaje capaz de fabricar el disco de freno requerido en condiciones de calidad y seguridad.
- 2) Comprobar la **viabilidad económica** del proyecto y así **justificar** el empleo de troqueles de matriz progresiva para la fabricación de lotes de tamaño medio en los que el valor añadido de la pieza es alto.

El proyecto consta de los siguientes documentos:

- Memoria
- Cálculos
- Planos
- Pliego de condiciones
- Presupuesto
- Anexos

1.2. ALCANCE DEL PROYECTO

En el proyecto se calcula y especifica todo lo necesario para la fabricación y el montaje del troquel de matriz progresiva diseñado, quedando **fuera del alcance** del proyecto el diseño de la prensa que acciona el troquel y el diseño del sistema de alimentación de chapa.

1.3. ANTECEDENTES

El **interés por** las tareas de **diseño** asistido por ordenador (CAD), las nociones básicas sobre procesos de troquelado adquiridas en la asignatura *Oficina Técnica* (7º semestre del plan de estudios) y la **afición por el ciclismo** de montaña y los componentes de las bicicletas son los principales desencadenantes del proyecto.

2. ESTUDIO DE LA PIEZA A FABRICAR

2.1. DESCRIPCIÓN DE LA PIEZA

La pieza a fabricar es un disco de freno de bicicleta de montaña, comúnmente llamada *mountain bike*.

Los sistemas de frenado de disco son los sustitutos de los tradicionales sistemas de frenado mediante zapata. El empleo de estos sistemas está en auge, ya que permiten un reparto de frenada más homogéneo, evitan el bloqueo de la rueda en la frenada y se comportan mejor en condiciones de barro.

Geoméricamente los discos de freno presentan un espesor reducido (entre 1 y 2 mm) y una gran cantidad de agujeros. Gracias a esto el peso de los discos es muy pequeño y se refrigeran mejor mediante la convección forzada con el aire.

El disco de freno a fabricar posee un **espesor de 1,2 mm** y un **diámetro exterior de 15 cm**. Tiene una serie de agujeros para reducir su peso y mejorar la refrigeración. El agujero central tiene un diámetro de 30 mm y es donde se acopla el eje de la rueda. Los 4 agujeros que los rodean sirven para atornillar el disco al buje.

Para información completa sobre la geometría véase el *Plano 1*.

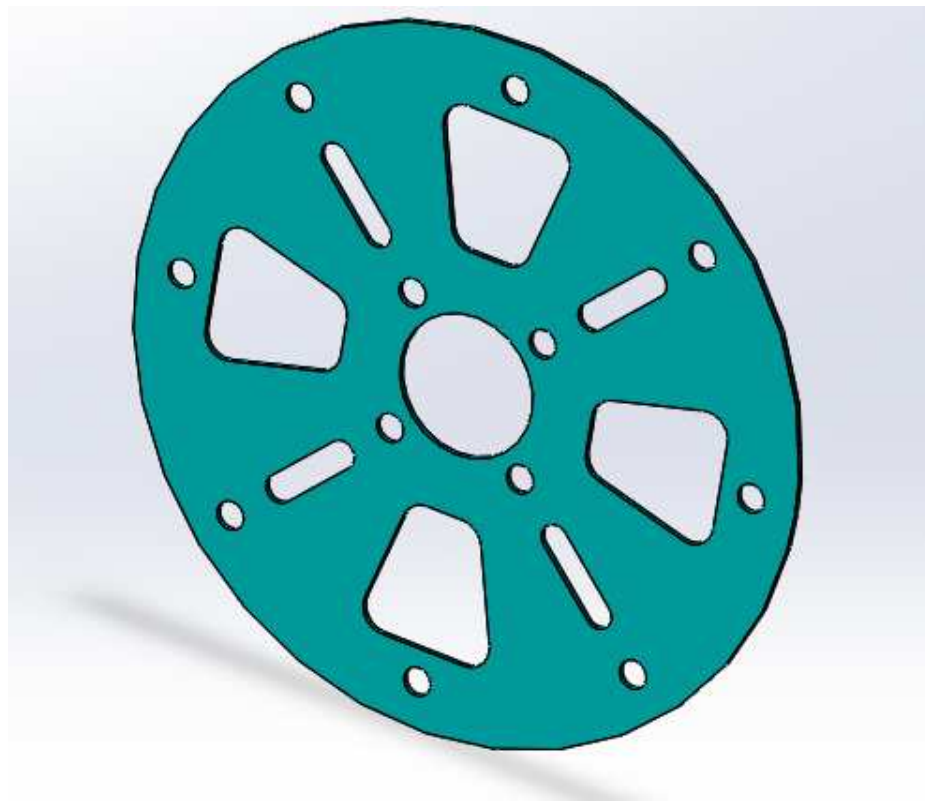


Figura 1.1. *Disco de freno a fabricar*



2.2. MATERIAL EMPLEADO

A la hora de fabricar frenos de disco se opta siempre por materiales ligeros, resistentes y buenos ante la corrosión. Es por esto que los materiales más empleados son el acero inoxidable, las aleaciones de aluminio y las de titanio.

El material empleado es el **acero inoxidable T302**. Es un acero inoxidable austenítico al Cr-Ni, laminado en frío. Se trata de un acero inoxidable muy empleado para operaciones de corte y estampado. Presenta alta resistencia y sus propiedades anticorrosivas son superiores a las del acero inoxidable T301.

El peso de la pieza fabricada en acero inoxidable T302 es de **124 gramos**.

A continuación se muestran las **propiedades mecánicas** y la **composición química** del material empleado, obtenidos de *www.matweb.com*.

	SI	Sistema Anglosajón
Densidad	7,86 g/cm ³	0,284 lb/in ³
Resistencia a la tracción	1050 MPa	152273 psi
Dureza Rockwell C	30	30
Módulo de elasticidad	188 GPa	27300 ksi
Coefficiente de Poisson	0,25	0,25
Módulo de elasticidad transversal	77,2 GPa	11200 ksi
Resistencia a la fatiga	485-500 MPa	70300-79800 psi

Tabla 1.1. Propiedades mecánicas del material empleado

	%
Carbono, C	<= 0,15
Cromo, Cr	18
Hierro, Fe	70
Manganeso, Mn	<= 2
Níquel, Ni	9
Fósforo, P	<= 0,045
Silicio, Si	<= 1
Azufre, S	<= 0,03

Tabla 1.2. Composición química del material empleado

3. ALTERNATIVAS EN EL PROCESO DE FABRICACIÓN

La mayoría de las piezas, y sobre todo las piezas metálicas, pueden fabricarse empleando diferentes procesos de fabricación. En este capítulo se describen 3 de los procesos alternativos al troquelado que pueden emplearse en el corte de chapa.

3.1. CORTE POR LASER

El término **láser** está formado por las siglas “Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation”. Un láser es un transductor óptico que convierte energía eléctrica en un **haz luminoso monocromático** (una única longitud de onda) y altamente **coherente**.



Figura 1.2. Corte por láser

Fuente: www.metalmecanica.com

El láser puede ser de **estado sólido**, de **estado líquido** y de **estado gaseoso**. Los más comunes son el láser de **Nd-YAG** (estado sólido) y el de **CO₂** (estado gaseoso).

Entre las **ventajas** del mecanizado con láser caben destacar:

- No hay problemas de desgaste ni rotura de la herramienta.
- El mecanizado de agujeros puede realizarse con muy alta precisión.
- Se consiguen muy buenas relaciones de profundidad-diámetro en caso de mecanizado de orificios muy pequeños.
- Taladrado de orificios en superficies inclinadas.
- El proceso puede ser fácilmente automatizable.
- Se pueden mecanizar una gran variedad de materiales de baja mecanizabilidad, como por ejemplo los materiales cerámicos.

Entre las **limitaciones** del proceso se encuentran:

- **Coste** del equipo **muy elevado**. Alrededor de **300 000 €** para láser de CO₂.
- El espesor máximo que se puede cortar es de unos 32 mm.
- Se genera una zona afectada térmicamente (ZAT) que puede ser perjudicial.
- Los equipos pueden llegar a provocar **daños en la retina ocular**.

3.2. CORTE POR PLASMA

En los años 40 se describió el primer proceso de soldadura que empleaba un electrodo no consumible de wolframio y helio como gas protector. Recibió el nombre de **soldadura TIG** (*Tungsten Inert Gas*). Unos pocos años más tarde, algunos científicos descubrieron que aumentando el flujo de gas y disminuyendo la abertura de la boquilla empleada en estos procesos se obtenía un chorro de **plasma**, el cuarto estado de la materia.

El proceso consiste en la aplicación de calor en una zona localizada del material a cortar, elevando su temperatura por encima de los 30000 °C y provocando que el gas de aportación se ionice y se convierta en plasma. Este chorro es capaz de cortar metales, lo que llevo a la tecnología de **corte por plasma** conocida hoy en día.

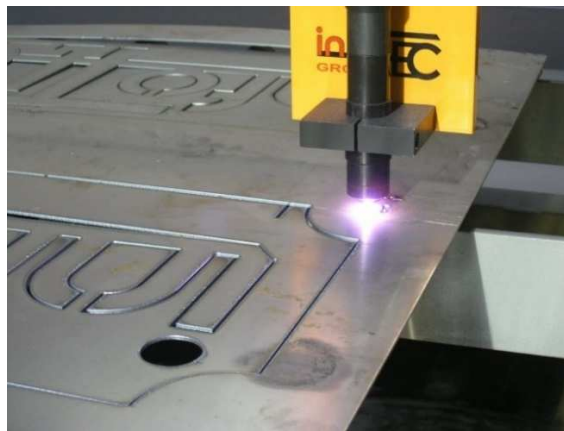


Figura 1.3. Corte por plasma

Fuente: www.artnaid.com

Entre las **ventajas** del corte por plasma se encuentran:

- Capacidad para cortar aceros estructurales, inoxidable y metales no férricos.
- Se consiguen cortes de alta calidad y muy buen acabado.
- Debido a la concentración calorífica las deformaciones que sufren las piezas tienden a ser pequeñas.
- Permite espesores de corte mayores que en el caso del corte por láser.
- Altas velocidades de corte.
- Facilidad de automatización.
- Posibilidad de realizar el proceso bajo el agua para disminuir ruidos y deformaciones.

Entre las **limitaciones** del proceso se encuentran:

- Coste del equipo **elevado**. Los equipos más baratos rondan los **120000 €**
- Para obtener rentabilidad es necesario producir grandes lotes de piezas.
- Las piezas muy pequeñas pueden llegar a sufrir deformaciones.
- La vía de corte es algo más ancha que en el corte por láser.

3.3. CORTE POR CHORRO DE AGUA ABRASIVO

La tecnología de corte por chorro de agua abrasivo forma parte de los **procesos de fabricación no convencionales**. El mecanizado por chorro de agua con abrasivo consiste en hacer impactar un fino haz de agua con partículas abrasivas a **muy alta velocidad** contra el material a procesar.



Figura 1.4. Corte por chorro de agua con abrasivo

Fuente: www.metalmecanica.com

Mediante este proceso se pueden hacer operaciones diversas tales como: torneado, fresado, **corte** y taladrado.

El corte por chorro de agua presenta **múltiples ventajas**, y es por esto que es el segmento de crecimiento más rápido dentro de la industria de la máquina herramienta. Entre las ventajas de esta tecnología se pueden citar:

- El proceso se lleva a cabo sin contacto de la herramienta con el material a mecanizar.
- No hay efectos térmicos, por lo que las propiedades del material no se ven afectadas.
- La boquilla puede moverse en cualquier dirección pudiendo realizarse mecanizados complejos.
- Como la pieza se encuentra ligeramente sumergida en el agua se producen pocas emisiones de gases o polvo.
- Es un proceso fácilmente automatizable.
- Las fuerzas de reacción en la boquilla del equipo son pequeñas y apenas se usan sistemas de fijación.
- Siempre y cuando no se trabaje con materiales nocivos, no se generan emisiones perjudiciales para el medio ambiente.

Pese a todas las ventajas citadas estos equipos presentan un precio que oscila entre los **100 000** y los **240 000** €. Estos precios se incrementan para equipos hechos a medida o si se trata de sistemas de 3 o más ejes.

Tal y como se ha establecido en el *apartado 1.1*, en este proyecto se busca la oportunidad de fabricar discos de freno mediante un proceso que requiera una inversión inicial más pequeña y con el que se logre rentabilidad para un lote de tamaño medio, de aproximadamente 20 000 unidades.

4. PROCESO DE FABRICACIÓN ELEGIDO: CORTE POR TROQUELADO

En este capítulo se describen las características del proceso de fabricación elegido para la conformación del disco de freno: el **corte por troquelado**. Se presentan las bases de funcionamiento de los troqueles, dispositivos que realizan la transformación del material. También se presenta la clasificación de estos y se deduce cual es el que mejor se adapta a los objetivos del proyecto.

4.1. DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS

Se define como troquelado a la **transformación** que le imprime un conjunto mecánico denominado troquel a una banda de chapa a través de unos punzones o machos y mediante la fuerza generada por una prensa.

Mediante el troquelado se pueden realizar **operaciones muy diversas**:

- Corte
- Corte de sobrante
- Doblado
- Embutido
- Estampado
- Marcado
- ...



Figura 1.5. Operaciones realizables mediante troquelado

Fuente: Introducción a la tecnología de matrices. (ASCAMM)

Estos procesos entran dentro del grupo de **procesos de fabricación por deformación plástica** del material, pues la prensa transmite una fuerza tal que las tensiones a las que se somete el material superan su límite elástico y este no recupera su forma original.

4.2. REPASO HISTÓRICO

El conformado metálico (forja y trabajo de chapa) es una de las tecnologías más usadas desde la antigüedad en la fabricación de productos metálicos, junto con la fundición y la pulvimetalurgia. Sin embargo, se cree que el conformado es el más antiguo de los tres. Las referencias más antiguas describen el martilleo de oro y cobre en varias regiones de Oriente Medio alrededor del 8000 a. C.

En la **Edad del Cobre** se descubrió que el martilleo del metal aumentaba su resistencia (endurecimiento por deformación), así como su aleación con otros metales como las de cobre y estaño, dando lugar a la **Edad del Bronce**, hacia el tercer milenio a. C.

La **Edad del Hierro** surge alrededor del siglo XII a. C. Este retraso respecto a los otros metales se debe principalmente a la dificultad para fundirlo y depurarlo a partir de diferentes minerales de hierro.

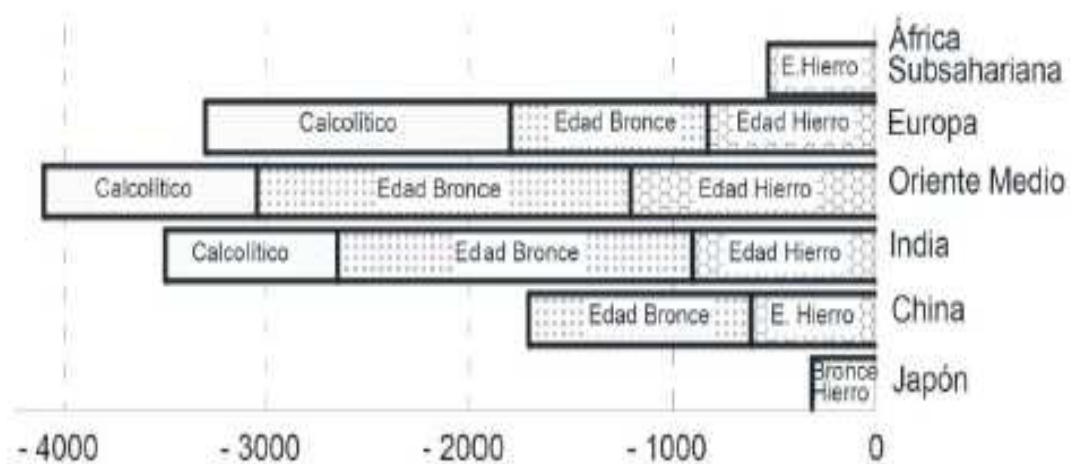


Figura 1.6. Línea temporal de la edad de los metales del mundo antiguo

Fuente: www.lmblogdehistoria.blogspot.com

Los procesos de conformado no sufren cambios significantes hasta llegada la **Revolución Industrial** en el siglo XVIII. Esta fue impulsada por descubrimientos como la máquina de vapor de Watt o innovaciones en la industria textil.

Después de la Revolución Industrial se empezaron a desarrollar maquinas herramienta con cada vez más precisión, lo que permitió fabricar **utillajes** diversos de **mayor calidad**, proporcionando la posibilidad de desarrollar técnicas de conformado por deformación plástica descubiertas muchos miles de años atrás.



4.3. TIPOLOGÍA DE TROQUELES

Los troqueles pueden clasificarse en función del número de operaciones que realizan en **troqueles simples** y **troqueles progresivos**.

- Troquel simple:

Los **troqueles simples** o troqueles de matriz simple son aquellos que ejecutan **una sola fase** u operación de todo el proceso productivo. La colocación de la chapa y el accionamiento de la prensa se hacen manualmente de forma general. La retirada de la pieza y el recorte del material también se efectúan del mismo modo.

Para realizar el proceso productivo completo se necesitan tantas matrices simples como pasos de fabricación necesite la pieza a fabricar. Este tipo de troquel es empleado para **producciones pequeñas de piezas simples**.

- Ventajas:

- Fácil diseño.
- Fácil mantenimiento.
- Baja inversión económica.

- Desventajas:

- Difícil automatización del proceso.
- Mayor mano de obra.
- Menor homogeneidad en piezas fabricadas.
- Diseño de más de un troquel.
- Construcción de más de un troquel.
- Necesidad de más de una prensa.
- Menor seguridad laboral.

- Troquel progresivo:

Los **troqueles progresivos** o troqueles de matriz progresiva son aquellos que ejecutan simultáneamente dos o más fases de un proceso de matrizado. La fabricación de piezas mediante este tipo de troquel se efectúa a partir de un fleje o tira de material que, mediante un sistema de alimentación, entra por un lado de la matriz.

La tira de material avanza por el interior de la matriz y, golpe a golpe, van realizándose las distintas fases del proceso, saliendo por el lado opuesto a la entrada el fleje sobrante del material. Son muy utilizados para **grandes producciones** y para piezas con muchas transformaciones, pues se ahorra mucho tiempo de producción y se logra una gran automatización del proceso.

➤ Ventajas:

- Mayor automatización del proceso.
- Reducción de la mano de obra.
- Necesidad de un solo troquel.
- Necesidad de una sola prensa.
- Mayor seguridad laboral.
- Homogeneidad de las piezas.
- Mayor aprovechamiento del material.

➤ Desventajas:

- Mayor dificultad de diseño.
- Mayor inversión inicial (necesidad de sistema de alimentación).

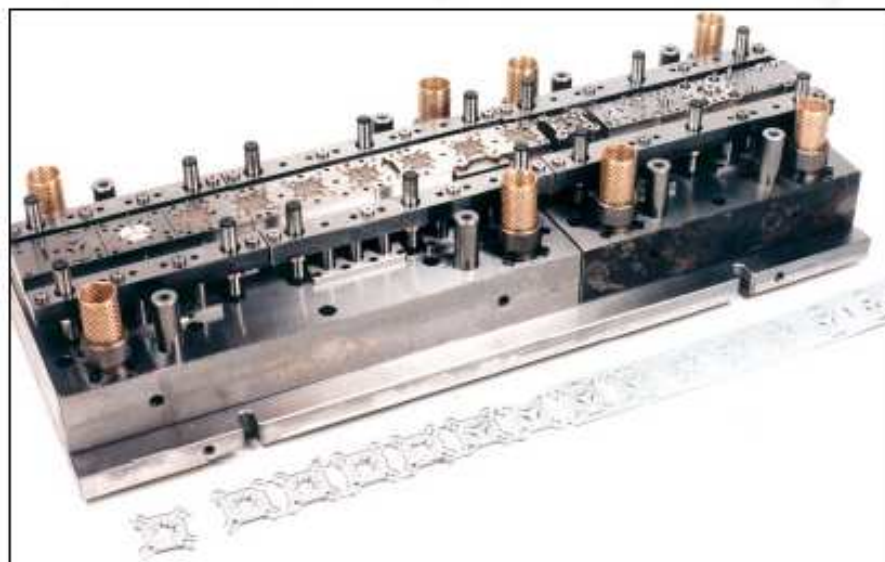


Figura 1.7. *Ejemplo de troquel progresivo*

Fuente: Matrices progresivas (ASCAMM)

4.4. ELECCIÓN DEL TIPO DE TROQUEL

De cara a producir discos de freno de calidad, con gran homogeneidad y proporcionando la mayor seguridad posible para el operario matricero, se empleará un **troquel progresivo de corte** para la fabricación, pues no se precisan operaciones de doblado o embutición. De esta manera se empleará una sola prensa y se reducirá el tiempo de mano de obra.

Tal y como se ha explicado, es necesario emplear un sistema de alimentación de chapa, encargado de impulsar la banda o fleje de chapa a través de la matriz. Existen distintos tipos de alimentación, que se explicarán en el siguiente capítulo.

5. SISTEMA DE ALIMENTACIÓN

Una de las principales características del conformado de piezas mediante troquelado de matriz progresiva es la rapidez en el conformado de piezas. Para que esto sea posible es necesario que la banda de chapa avance de forma continua a través del troquel. Es por esto que el sistema de alimentación tiene una gran importancia a la hora de garantizar la **automatización, seguridad y calidad** del proceso diseñado.

5.1. TIPOS DE SISTEMAS DE ALIMENTACIÓN

El avance de la banda de chapa se puede efectuar de forma **manual, semiautomática y automática**. El objetivo de este apartado es describir las características de cada tipo de sistema de alimentación para posteriormente decidir cuál de ellos es el que mejor se adapta a las condiciones de nuestro proceso. Generalmente los factores determinantes a la hora de elegir el sistema de alimentación son la producción anual y el tiempo de máquina en marcha.

5.1.1. Avance manual

En los sistemas de avance manual es el **propio operario** quien se encarga de hacer avanzar la banda de chapa a través de la matriz cada vez que la prensa realiza un ciclo de trabajo. En este caso es necesario el empleo de topes como medida de referencia para el operario, ya que sin ellos resultaría imposible aprovechar al máximo la banda de chapa.

La producción alcanzada cuando la alimentación de la matriz progresiva se hace de forma manual es muy limitada, pues la velocidad del operario es la que limita la velocidad global del proceso. Además de tener una **escasa capacidad productiva**, este sistema tiene varios inconvenientes:

- Aumento de la fatiga del operario encargado de la alimentación del troquel.
- Riesgos de seguridad debidos a que el operario tiene acceso directo a la matriz durante el ciclo de trabajo.
- Dificultad para lograr homogeneidad en las piezas fabricadas.

Este sistema únicamente se emplea para **producciones pequeñas** o en casos en los que el presupuesto no permite el empleo de un sistema de alimentación más automatizado.



Figura 1.8. Fabricación de arandelas por troquelado con alimentación manual

5.1.2. Avance semiautomático

En los sistemas de alimentación con avance semiautomático la banda de chapa avanza por la acción de un dispositivo llamado **alimentador**. El alimentador hace que la chapa avance de forma continua a través de la matriz.



Figura 1.9. Alimentador mecánico de rodillos

Fuente: <http://www.mahezasa.es>

Cuando se emplea este sistema de alimentación la chapa se compra en **placas** o chapones y estas se cortan con una anchura igual al ancho de banda del troquel. Para ello se emplea una cizalla o máquina cizalladora.

La alimentación con avance semiautomático es **más rápida, automatizable y segura** que en el caso del avance manual.

El principal inconveniente de este sistema es la **necesidad del operario de recambiar** las bandas de chapa cuando estas llegan a su fin. Es por esto que este sistema es desaconsejable para producciones muy elevadas, de proceso continuo o situaciones en las que la operación de troquelado es una etapa dentro de la línea de producción del producto y una parada para el cambio de banda de chapa frenaría toda la cadena de producción.

Este sistema de alimentación se emplea para **producciones medias** y cuando el proceso de troquelado **no forma parte de una cadena** o línea de fabricación continua.

El sistema de avance semiautomático requiere de una **inversión inicial**, pero esta es menor que en el caso de la alimentación con sistema automático, tal y como se verá en el siguiente apartado.

5.1.3. Avance automático

En los sistemas de alimentación con avance automático el avance de chapa se realiza por medio de un sistema formado por 3 dispositivos: el **alimentador**, la **aplanadora** y la **devanadora**.

En este caso no se parte de una chapa plana, sino de una **bobina de gran longitud** que se enrolla en la devanadora. La devanadora se encarga de desenrollar la chapa y posteriormente la aplanadora reduce su curvatura y la deja plana para que entre en el alimentador.



Figura 1.10. *Máquina devanadora*



Figura 1.11. *Máquina aplanadora*

Fuente: <http://www.mahezasa.es>

De los 3 tipos de alimentación expuestos, evidentemente este es el que reúne las mayores ventajas de cara a conseguir una producción continua. Sus **ventajas** principales son:

- **Paradas mínimas** en el sistema de producción por recambio de bobina, debido a que las bobinas tienen una gran longitud.
- Ausencia de riesgos relacionados con la **seguridad** del operario, pues este no tiene que acceder a la matriz durante los ciclos de trabajo.
- Facilidad para adaptar el proceso a sistemas de **producción continua en cadena**.

Los principales **inconvenientes** que presenta son los siguientes:

- **Inversión inicial** notablemente **superior** a la de los sistemas semiautomáticos.
- Mayor **necesidad de espacio** debido al mayor número de máquinas necesarias.
- Mayor **coste energético**.

Es por esto que el sistema automático de alimentación se emplea para **grandes producciones** y para **sistemas de producción en cadena** en la que se requieren el menor número de arranques y paradas de la maquinaria.

Una vez estudiadas las 3 alternativas en cuanto al sistema de alimentación de chapa se procederá a la elección de aquel sistema que mejor se adapte a las características de nuestro proceso de troquelado.



5.2. SISTEMA DE ALIMENTACIÓN ELEGIDO

Tal y como se explicó en el apartado correspondiente a la **definición del proyecto**, este troquel se ha diseñado para una tirada inicial de **20000** piezas, por lo que estamos en un **rango de producción medio**.

Por otro lado, una de las prioridades del proyecto es la **calidad** de las piezas producidas. La **seguridad** de los operarios encargados de realizar y supervisar la operación de troquelado también es un factor fundamental a tener en cuenta. Es por esto que el sistema de avance manual queda descartado.

Desde el punto de vista del mercado, el freno de disco es un elemento con cierta **exclusividad**, y esto permite un grado de flexibilidad a la hora de su fabricación que se traduce en plazos de entrega entre clientes y proveedores bastante amplios. Como consecuencia de esto, el proceso de fabricación no tiene por qué ser estrictamente continuo.

Por otro lado, los discos de freno obtenidos de este proceso no se venden de forma directa a los clientes, ya que la operación de corte es un proceso de fabricación por deformación plástica del material en el que la presión generada supera el límite elástico. Debido a esto el producto troquelado permanece con unas tensiones residuales. Generalmente, cuando las piezas troqueladas van a tener algún tipo de sollicitación mecánica se les aplica un **tratamiento térmico de recocido***** para la eliminación de estas tensiones. En nuestro caso durante la frenada se generan fuerzas de rozamiento en la superficie del disco debidas al empuje axial. El disco tendrá que ser enviado a tratar térmicamente a una empresa externa a no ser que la empresa que implante este proceso disponga de equipamiento para realizar tratamientos térmicos.

En base a todo esto se considera que el **SISTEMA DE ALIMENTACIÓN SEMIAUTOMÁTICO** es el que mejor se adapta a los objetivos de este proceso.

▪ DISPOSITIVO NECESARIO: EL ALIMENTADOR

El alimentador es el encargado de alimentar el troquel de matriz progresiva con la banda de chapa. El avance automático que le proporciona el alimentador a la banda de chapa se sincroniza con el paso.

Los tipos de alimentador más empleados son los siguientes:

- a) Alimentador neumático con mordaza fija y mordaza móvil.
- b) Alimentador hidráulico con 2 mordazas móviles.
- c) Alimentador mecánico de rodillo.

Los alimentadores mecánicos presentan una menor precisión de avance debido a deslizamientos en los rodillos.

El tipo de alimentador más adecuado es el **neumático**, porque estos son elementos autónomos de construcción sencilla, menos robustos que los mecánicos y con una precisión

de avance en condiciones nominales de trabajo muy elevada ($\pm 0,002$ mm), tanto en altas como en bajas velocidades de producción.



Figura 1.12. Alimentador de tipo neumático

Fuente: <http://segurallunell.es>

El funcionamiento del alimentador neumático lo gestiona una **válvula neumática** que se sitúa en el cigüeñal de la prensa, de tal forma que quedan sincronizados el movimiento horizontal de avance de la chapa y el movimiento vertical rectilíneo alternativo del cabezal de la prensa. La válvula neumática actúa de la siguiente manera: la señal de inicio ordena la apertura de la mordaza delantera (fija) y el cierre de la trasera (móvil), al mismo tiempo que esta empuja la chapa y avanza. Cuando se llega al final del recorrido el carro vuelve a la posición inicial.

El sistema de regulación del recorrido de avance consta de un husillo de rosca fina que debe ajustarse al paso requerido por la matriz. Esto hace que un mismo alimentador pueda emplearse para distintos pasos de chapa. Los alimentadores se dimensionan en función del ancho de banda de la chapa.

El alimentador se anexiona a la bancada mediante una placa de sujeción que permite regular la altura de trabajo según la necesidad de cada proceso. En ocasiones en las que el tamaño y la geometría del alimentador lo permiten el alimentador se monta directamente sobre la placa base de la matriz.

Normalmente los alimentadores se montan en la parte delantera de la matriz y la banda avanza debido a una fuerza de empuje. Cuando las chapas son muy finas o cuando se quiere evitar que la banda de chapa se doble debido a la flexión (generada por su peso propio en voladizo), se puede optar por colocar el alimentador en la parte trasera de la matriz. En este caso el alimentador ejercería un movimiento de tracción. Una tercera opción es el empleo de un **alimentador dual**, que empuje la chapa por la parte frontal y la traccione por la posterior. De esta manera la chapa **no flexa** de ninguna manera, porque tiene puntos de apoyo a ambos lados de la matriz. Este sistema también permite un **aprovechamiento** de la banda de chapa en su totalidad y el alimentador posterior sirve como **unidad receptora** de banda. Para emplearse la prensa debe de ser accesible por los laterales (prensas de cuello de cisne)



6. ANIDAMIENTO O *NESTING*. APROVECHAMIENTO DE LA CHAPA

6.1. DISTANCIA DE SEPARACIÓN ENTRE PIEZAS

Es imprescindible dejar una distancia de separación (S) entre piezas para que la tira de material posea cierta rigidez y pueda garantizarse el avance del fleje de chapa a través de la matriz progresiva.

Esta distancia S también debe respetarse entre el contorno de la pieza y el borde de la banda o fleje de chapa, para que haya suficiente material, el corte de la chapa sea correcto y no ocurran desgarros durante la operación.

La separación mínima puede calcularse aplicando la siguiente fórmula:

$$S_{\text{mín}} = 1,5 \cdot e$$

Como $e = 1,2$ mm se obtiene $S_{\text{mín}} = 1,5 \cdot 1,2 = 1,8$ mm.

Se ha adoptado una separación entre piezas y entre pieza y borde de chapa de **S = 2mm**.

6.2. DETERMINACIÓN DEL PASO

El paso (P) es la distancia existente entre dos puntos homólogos de dos piezas consecutivas situadas sobre el fleje de chapa. El paso es un parámetro de gran importancia, pues es la distancia que avanza el fleje de chapa dentro de la matriz entre dos golpes consecutivos de la prensa.

El paso (P) puede calcularse aplicando la siguiente fórmula:

$$P = S + a$$

Donde:

S = separación entre piezas (mm).

a = anchura de la pieza (mm).

6.3. APROVECHAMIENTO DE LA BANDA DE CHAPA

El aprovechamiento o rendimiento de la banda de chapa es el parámetro que determina la medida en la que el material es aprovechado. Es un factor de gran importancia tanto por motivos económicos como medioambientales. Un rendimiento alto se traduce en un mayor beneficio económico y un menor consumo de recursos energéticos y materia prima. También se reduce el impacto medioambiental.

El aprovechamiento se calcula como:

$$\text{Aprovechamiento (\%)} = \frac{\text{Área exterior a punzonar}}{\text{Área chapa}} \cdot 100$$



Como puede observarse en la ecuación anterior, a la hora del cálculo de rendimientos solo se tiene en cuenta el área encerrada por el contorno exterior de la pieza., sin tener en cuenta los recortes interiores. Como referencia generalmente se recomienda que el rendimiento de la chapa sea superior al 75%, pero geoméricamente esto es muy difícil de conseguir en piezas con forma circular.

La ecuación anterior aplicada al caso de un contorno circular toma la siguiente forma:

$$\text{Aprovechamiento} = \frac{\left(\frac{\pi}{4}\right) \cdot D^2 \cdot n}{\text{Área chapa}} \cdot 100$$

Donde:

D = diámetro de la pieza, 150 mm.

n = número de recortes por chapa.

Tal y como se ha definido en el capítulo anterior, la materia prima se comprará en chapones a un proveedor. Posteriormente estas se cortarán a la anchura del ancho de banda con una cizalla y se introducirán en el alimentador. Los chapones de acero inoxidable pueden comprarse en 3 tamaños: **1000x2000**, **1200x2400** y **1220x2400**.

CHAPAS LAMINADAS EN FRIO SAE 1008/1010

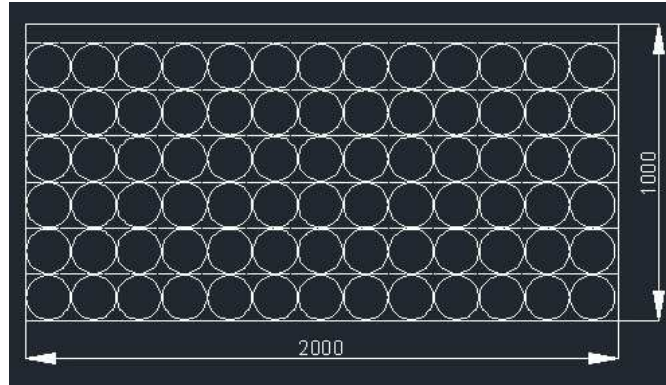
Nro. Espesor	Equivalencias en mm	Peso por Unidad		
		1000 X 2000	1200 X 2400	1220 X 2400
30	0,30	4,880		
28	0,35	5,670		
27	0,40	6,480	9,100	9,467
26	0,45	7,200	10,200	10,672
	0,50	8,100	11,300	11,860
24	0,55	9,000	13,500	13,044
	0,60	10,000	13,000	14,467
22	0,70	11,340	15,800	16,602
	0,75	12,150	17,000	17,788
	0,80	13,068		19,132
20	0,90	14,000	21,000	21,345
19	1,00	17,172		25,139
18	1,20	19,000	28,000	29,000
	1,50	24,000	35,000	35,575
16	1,60	26,000	36,200	38,000
14	2,00	34,000	45,200	50,800
12	2,50	41,513	56,500	62,000
	2,85	44,003	60,000	64,137

6.4. DISPOSICIÓN DE LAS PIEZAS SOBRE LA BANDA DE CHAPA

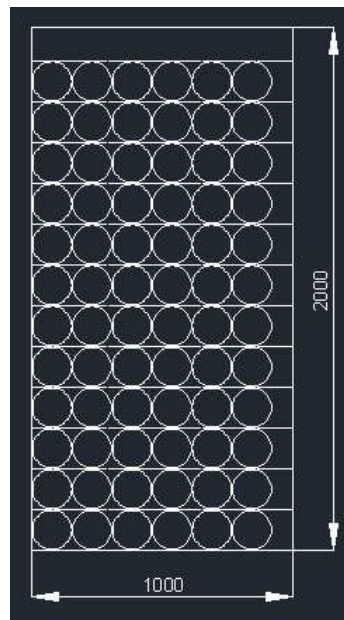
A continuación se van a estudiar 2 disposiciones distintas de las piezas sobre la banda de chapa: la **disposición lineal** y la **disposición al tresbolillo**. Cada disposición se estudiará en los 3 tamaños de chapa disponibles (orientación vertical y orientación horizontal) y se calcularán el **paso**, el **ancho de banda** y el rendimiento o **aprovechamiento** de la chapa. Se ha empleado el *Autocad 2015* para dibujar en plano. Posteriormente se recogerán los resultados obtenidos en una tabla.

6.4.1. Disposición lineal

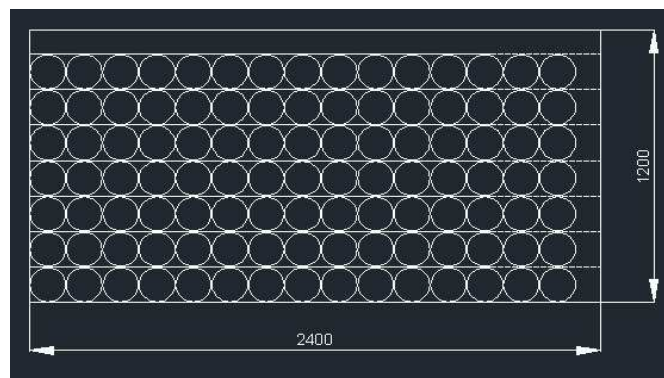
- Tamaño de chapa: 2000x1000:



- Tamaño de chapa: 1000x2000:

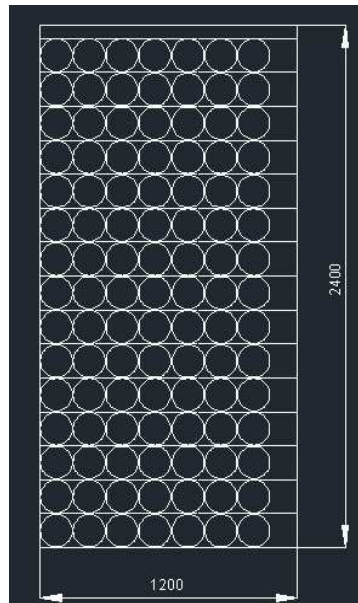


- Tamaño de chapa= 2400x1200:

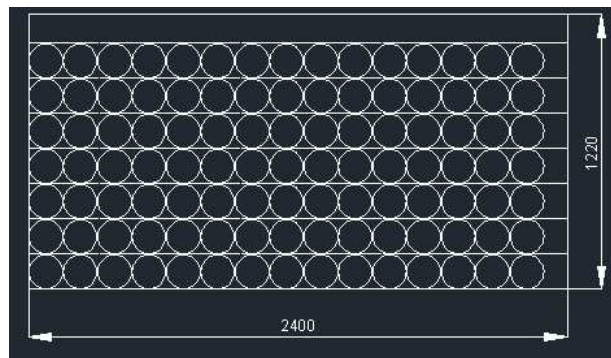




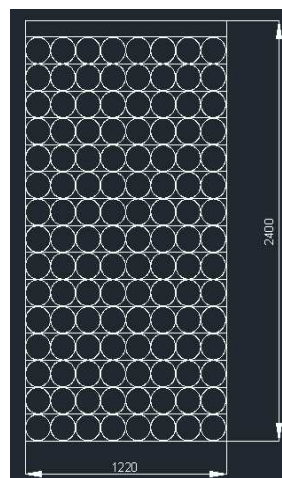
- Tamaño de chapa: 1200x2400:



- Tamaño de chapa= 2400x1220:

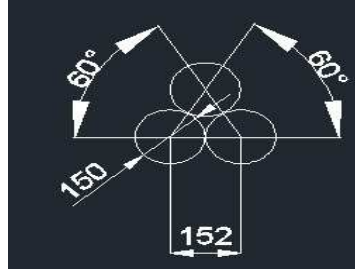


- Tamaño de chapa: 1220x2400:

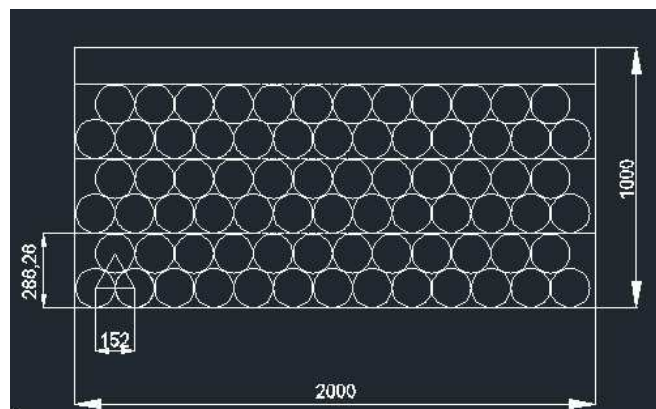


6.4.2. Disposición al tresbolillo

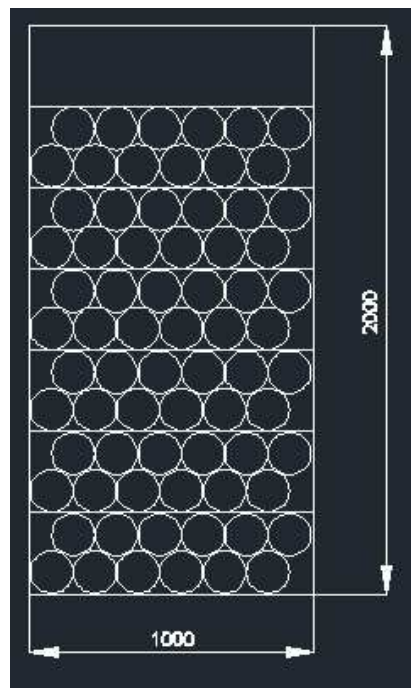
La disposición en tresbolillo para la pieza a diseñar sigue la siguiente geometría:



- Tamaño de chapa: 2000x1000:

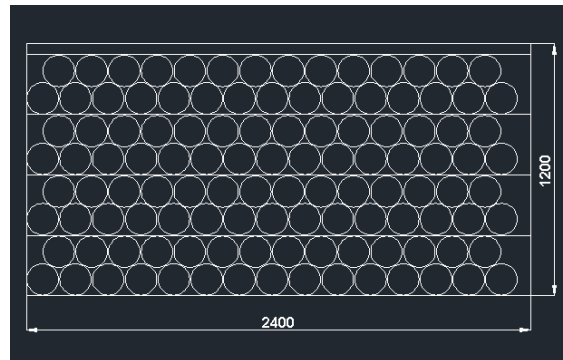


- Tamaño de chapa: 1000x2000:

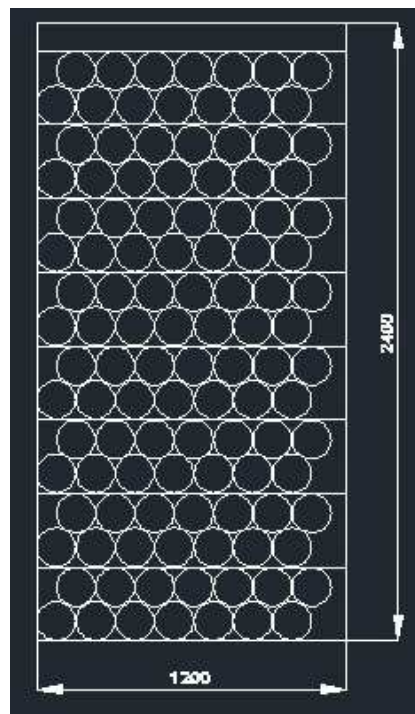




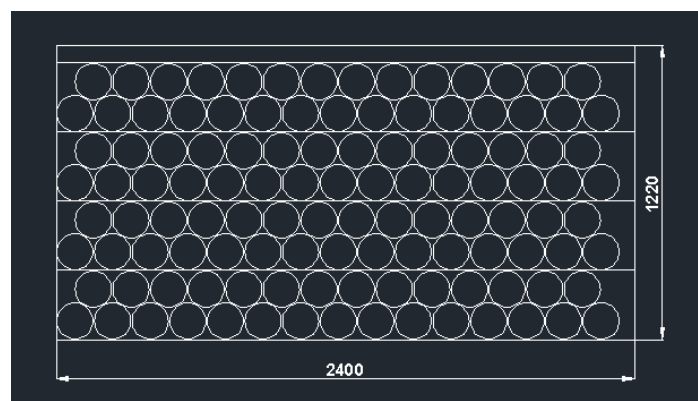
- Tamaño de chapa= 2400x1200:



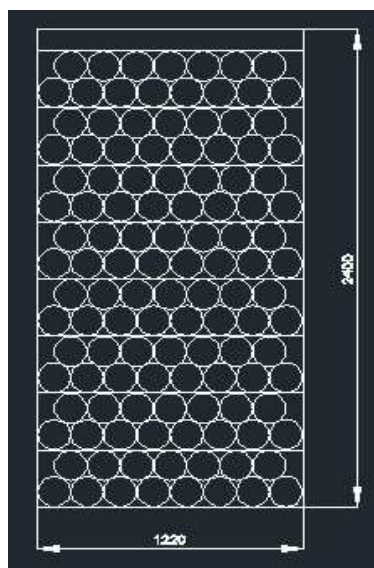
- Tamaño de chapa: 1200x2400:



- Tamaño de chapa= 2400x1220:



- Tamaño de chapa: 1220x2400:



6.4.3. Resultados obtenidos

DISPOSICIÓN	LINEAL					
	2000x1000	1000x2000	2400x1200	1200x2400	2400x1220	1220x2400
TAMAÑO DE CHAPA	2000x1000	1000x2000	2400x1200	1200x2400	2400x1220	1220x2400
Numero de bandas	6	12	7	15	7	15
Piezas por banda	13	6	15	7	15	8
Piezas totales	78	72	105	105	105	120
Ancho de banda (mm)	154	154	154	154	154	154
Paso (mm)	152	152	152	152	152	152
APROVECHAMIENTO	68,9	63,6	64,4	64,4	63,4	72,4

Tabla 1. 3. Resultados para disposición lineal

DISPOSICIÓN	TRESBOLILLO					
	2000x1000	1000x2000	2400x1200	1200x2400	2400x1220	1220x2400
TAMAÑO DE CHAPA	2000x1000	1000x2000	2400x1200	1200x2400	2400x1220	1220x2400
Numero de bandas	3	6	4	8	4	8
Piezas por banda	25	12	29	14	29	15
Piezas totales	75	72	116	112	116	120
Ancho de banda (mm)	287	287	287	287	287	287
Paso (mm)	152	152	152	152	152	152
APROVECHAMIENTO	66,3	63,6	71,2	68,7	70	72,4

Tabla 1.4. Resultados para disposición tresbolillo

6.5. DISPOSICIÓN ELEGIDA. JUSTIFICACIÓN.

Al tratarse de un contorno circular resulta imposible obtener un rendimiento que alcance el 75%. El **máximo aprovechamiento es de 72,4%** y puede obtenerse de 2 formas distintas:

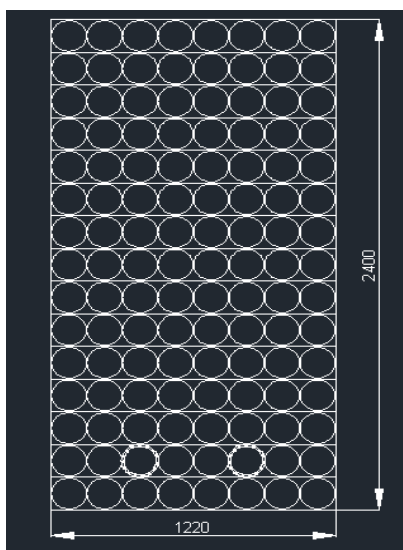
- Con una disposición lineal, chapón de 1220x2400 y ancho de banda de 154 mm.
- Con una disposición al tresbolillo, chapón de 1220x2400 y ancho de banda de 287 mm.

Hay que tener en cuenta varios aspectos para tomar la decisión de cuál de los dos anidamientos emplear:

- Si se emplea la disposición al tresbolillo se fabrican 2 piezas por golpe, pero el ancho de banda asciende a 287 mm y el **coste del troquel aumenta** de forma significativa. También son necesarios el doble de punzones y la fuerza necesaria para la prensa se duplica. Es un método recomendable para la fabricación de lotes muy grandes de piezas con pocos punzones, como por ejemplo las arandelas.
- El empleo de una disposición lineal da lugar a un troquel de dimensión media, y con facilidad para adaptarse a armazones o portamatrices comerciales, lo que supone un ahorro en la fabricación y evita sobredimensionamientos.

Por todo esto se decide emplear una **DISPOSICIÓN LINEAL** de las piezas sobre la banda de chapa.

Para una mayor seguridad en el proceso de corte de la chapa se ha decidido distribuir el espacio sobrante de la parte superior. Este espacio de 90 mm se ha distribuido aumentando el ancho de banda de cada una de las 15 bandas que conforman el chapón en 6 mm, quedando un ancho de banda definitivo de 160 mm. La disposición resultante es la que se muestra a continuación.



DISPOSICIÓN	LINEAL
TAMAÑO DE CHAPA	1220x2400
Numero de bandas	15
Piezas por banda	8
Piezas totales	120
Ancho de banda (mm)	160
Paso (mm)	152
APROVECHAMIENTO	72,4 %

Tabla 1.5. Características de la disposición elegida

7. ETAPAS EN EL PROCESO DE TROQUELADO

El número de pasos o etapas en el conformado de la pieza es un parámetro importante, pues determina directamente el tamaño de la matriz, y, en consecuencia, el del troquel entero. Por esto siempre que sea posible se intenta minimizar el número de pasos.

En este caso se sigue la analogía de la fabricación de arandelas y se emplea el mínimo número de pasos para la fabricación, **2 pasos**:

- **PASO 1:**

La banda de chapa entra en la matriz, y los punzones A, B, C y D bajan **realizando los cortes interiores** del disco. Los punzones A tienen una longitud 2 mm superior a los otros 3, y de esta manera sirven de sujeción para que la banda de chapa no se mueva en el plano. Se diseña también un sistema de pisado para que la banda de chapa no se eleve con el corte de los punzones. Los recortes caen a través de la matriz y la placa base inferior, y deslizan por la rampa del contenedor.

- **PASO 2:**

La chapa avanza el valor del paso, **152 mm**, el punzón circular extractor descende y **corta el contorno** del disco de freno. Este cae atravesando matriz y placa base inferior, y deslizando por la rampa del contenedor llega a manos del operario.

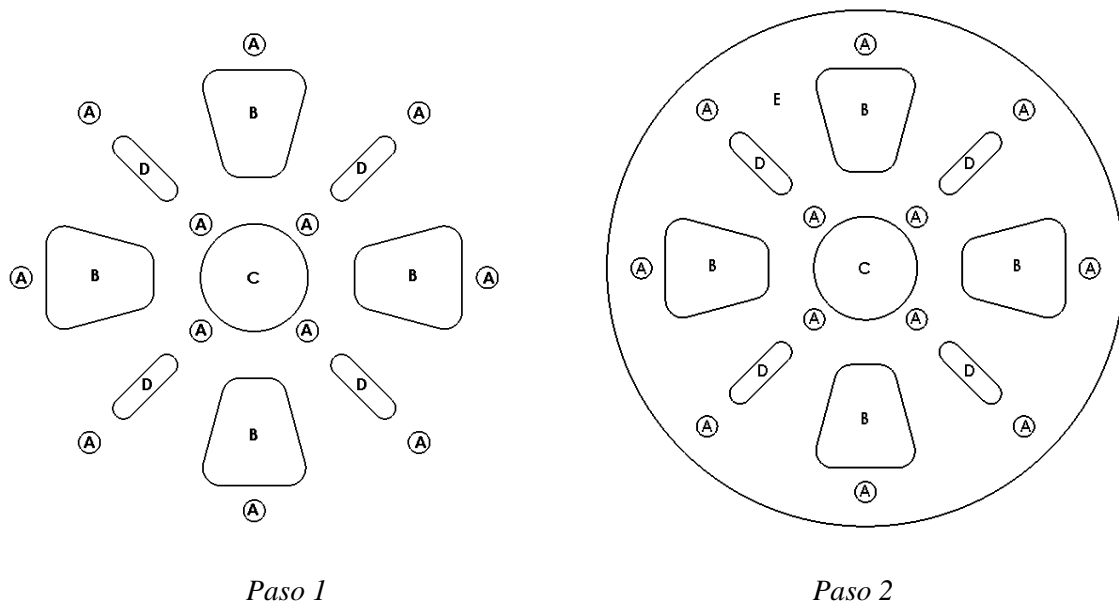


Figura 1.13. Etapas en el proceso de troquelado de la pieza

8. DISEÑO DEL TROQUEL DE MATRIZ PROGRESIVA

Todos los elementos que componen el troquel han de diseñarse de manera que resulten **funcionales** y puedan ser fabricados con un **coste razonable**. Es por esto que hay que evitar el sobredimensionado de las piezas. Para esto se ha consultado el espesor recomendado para cada placa.

También hay que prestar especial atención a los aceros empleados para fabricar cada una de las piezas, así como a los **tratamientos térmicos** y **acabados superficiales** que se les dará a las piezas que así lo requieran. La correcta elección de estas 3 variables se traduce en una producción de calidad y en unos menores gastos de mantenimiento del troquel.

El diseño se ha realizado mediante el software de diseño asistido por ordenador (CAD) *SolidWorks 2016*. Se han diseñado **3 subconjuntos** distintos para facilitar el montaje virtual en CAD y para entender el montaje real en taller. Una vez diseñados los 3 subconjuntos se han unido creando un único modelo.

- SUBCONJUNTO INFERIOR:

El subconjunto inferior constituye la **parte fija** del troquel. Este subconjunto debe quedar bien fijado a la mesa de la prensa. Sus componentes son los siguientes:

- Contenedor
- Placa base inferior
- Placa matriz
- Columnas guía
- Guías de banda
- Elementos de unión (10 tornillos y 4 pasadores)

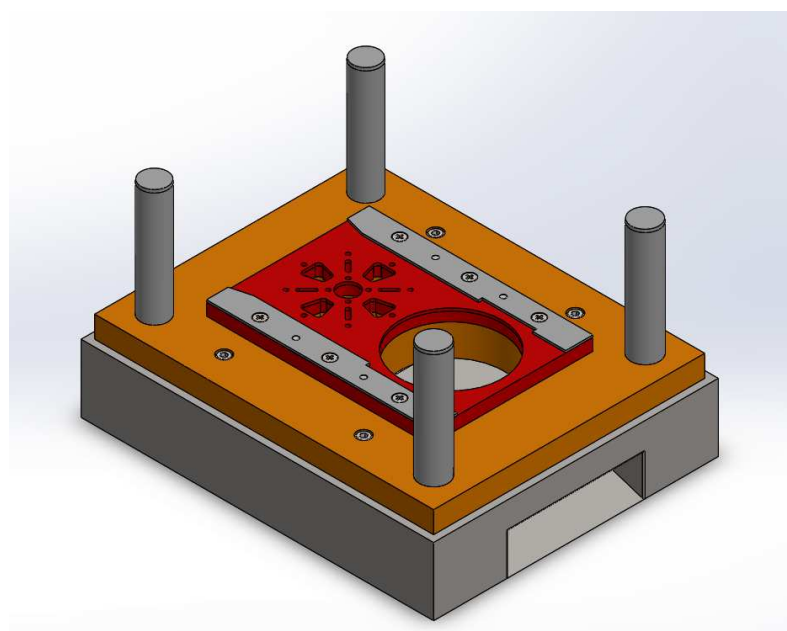


Figura 1. 14. *Subconjunto inferior*

- SUBCONJUNTO CENTRAL:

El subconjunto central es **una de las 2 partes móviles** del troquel. Se desplaza desde que la prensa está posicionada en el punto muerto superior hasta que la placa pisadora hace contacto con la chapa. Para el troquel diseñado este desplazamiento es de **17 mm** (véase apartado 5 del documento *Cálculos*). Sus componentes son los siguientes:

- Placa pisadora
- Placa guía punzones
- 4 casquillos deslizantes
- Elementos de unión (6 tornillos y 4 pasadores)

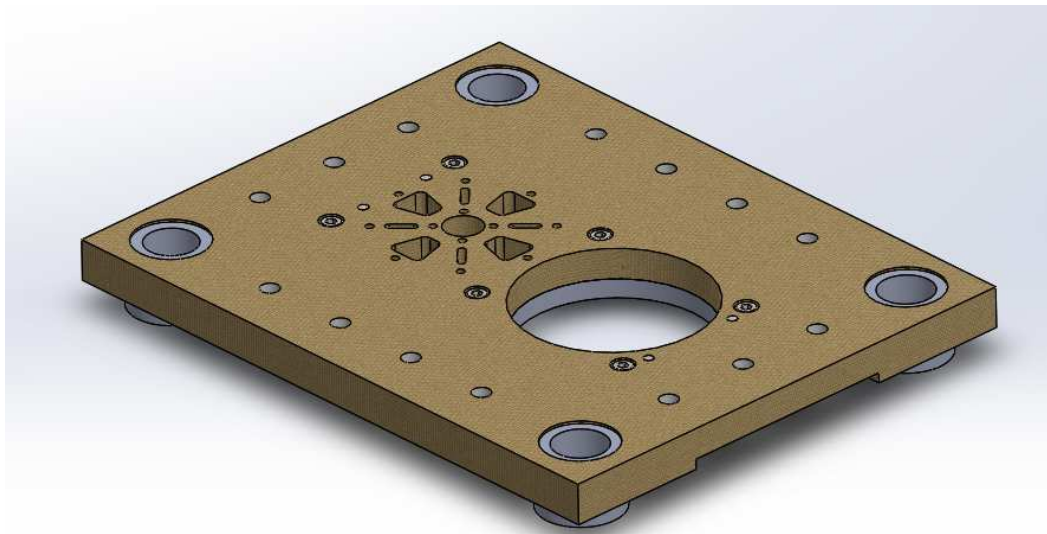


Figura 1.15 *Subconjunto central*

- SUBCONJUNTO SUPERIOR

El subconjunto superior constituye la segunda parte móvil del troquel. Su desplazamiento es el valor de la carrera de la prensa, **27 mm** (véase apartado 5 del documento *Cálculos*). El subconjunto superior se une a la prensa a través del vástago de sujeción. Los componentes del subconjunto superior son los siguientes:

- Punzones de corte
- Placa porta punzones
- Placa sufridera
- Placa superior
- Vástago
- 4 casquillos deslizantes
- Elementos de unión (12 tornillos y 4 pasadores)

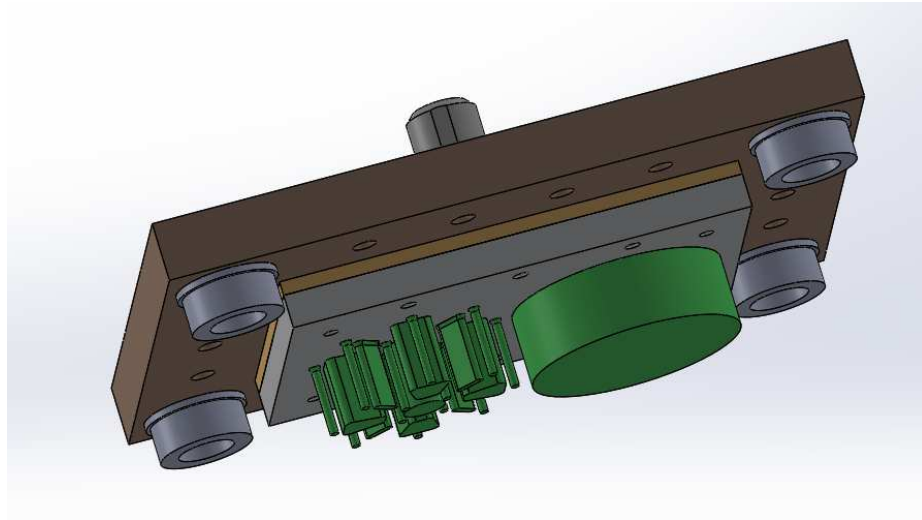


Figura 1.16. *Subconjunto superior*

El subconjunto central y el subconjunto superior se unen mediante los elementos que componen el sistema elástico de extracción: los **muelles** y los **topes guía**. Se emplearán un total de **14 muelles** y **14 topes guía**, que irán alojados dentro del muelle y roscados en la placa guía punzones. La cabeza de los topes guía reposa sobre los alojamientos de la placa superior.

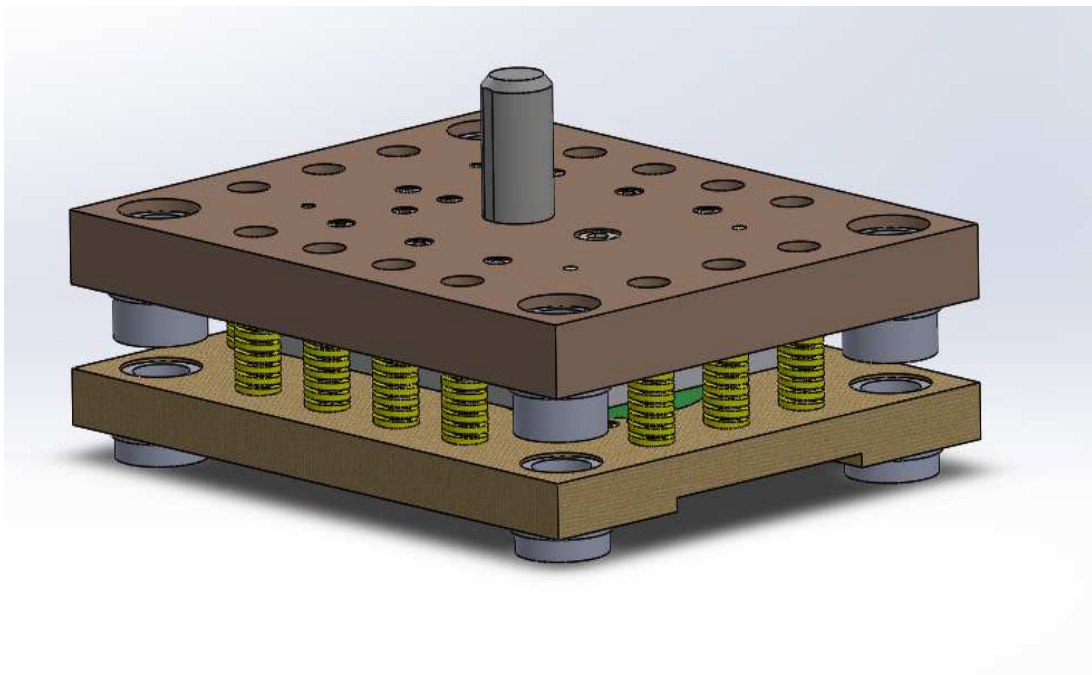


Figura 1.17. *Unión de partes móviles del troquel*

Después de ensamblar la parte fija y la parte móvil se obtiene el conjunto del troquel de matriz progresiva resultante, colocado en el punto muerto superior de la prensa:

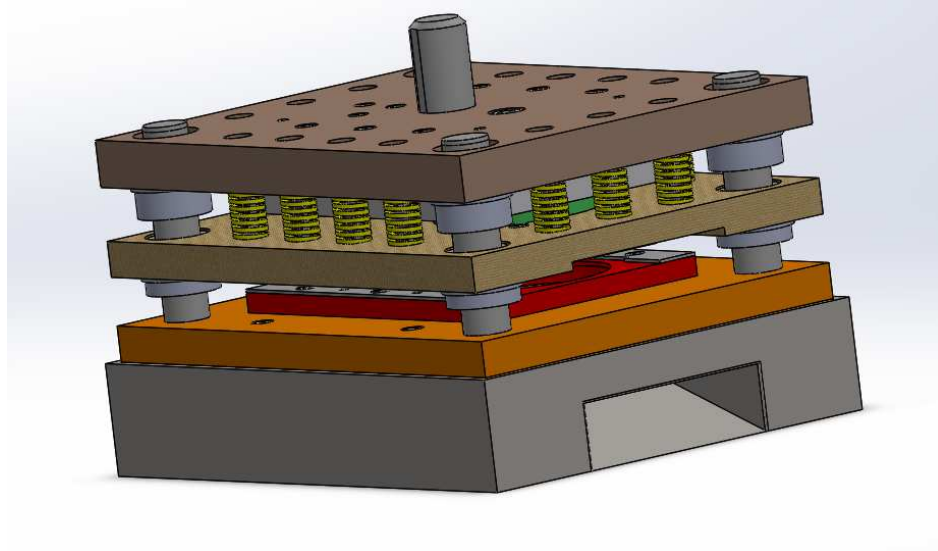


Figura 1.18. *Troquel de matriz progresiva*

En los siguientes apartados se hará una **descripción de cada uno de los componentes diseñados** que componen el troquel. El proveedor de los aceros para la fabricación de los elementos diseñados es la empresa *ThyssenKrupp Aceros y Servicios S.A.* Las recomendaciones técnicas para el mecanizado y el tratamiento térmico de los aceros están disponibles en el *Anexo C*.

También se detallarán las características de todos los **elementos comerciales** que se han empleado y que juegan un papel fundamental en el funcionamiento del troquel.

8.1. CONTENEDOR

Se ha diseñado un contenedor que se sitúa debajo de la placa base inferior con el objetivo de que una vez realizado el corte de chapa, la chatarra y las piezas producidas puedan llegar a manos del operario. El contenedor tiene unas dimensiones de 520x420x100 mm y está fabricado en acero **F-1120** (W. Nr. 1.0402).

El contenedor es el elemento que va a soportar el utillaje y va a transmitir los esfuerzos a la mesa de la prensa. Es el **elemento más robusto y pesado** del utillaje,

En cuanto al diseño, el contenedor se ha dividido en dos secciones para que la separación de la chatarra y de la pieza acabada se haga automáticamente. Esto evita un proceso posterior de separación, que se traduce en una ganancia de tiempo por parte del operario y un aumento de su productividad.

Además, se han realizado **dos rampas** para que las piezas y los recortes deslicen por ellas hasta la mesa de operación. De esta forma las piezas no se atascarán y no habrá paros de producción.

Las aristas que conforman el arco de la entrada de la rampa se han redondeado para que no ocurran accidentes ni cortes al evacuar las piezas y para facilitar el transporte del contenedor. La arista intersección de las dos rampas también se ha redondeado para que no produzca cortes en la placa base inferior.

Se debe mecanizar un **rebaje de 15 mm** y las rampas de deslizamiento. Se **realizan 4 taladros ciegos roscados M12** para unir el contenedor con la placa base inferior mediante tornillos M12 DIN 7984 (cabeza hueca hexagonal).

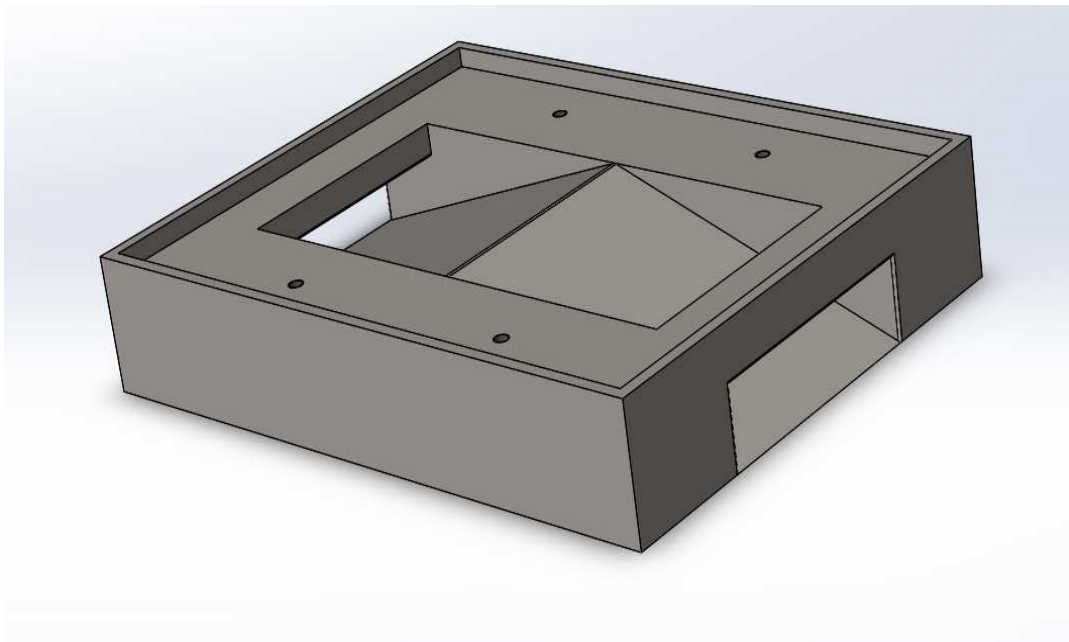


Figura 1.19. *Contenedor*

8.2. PLACA BASE INFERIOR

La placa base inferior es la pieza sobre la que se apoya la placa matriz y trabaja a compresión. La placa base inferior es de acero **F-1120** (W. Nr. 1.0402) y tiene unas medidas de **500x400x47** mm.

Esta placa proviene del **Portamatrices Modelo D** (4 columnas guía) de la empresa **INMACISA**, que incluye la placa base inferior, la placa guía punzones y la placa superior. En función de la superficie ocupada por la placa matriz el proveedor establece un tamaño en superficie para las placas citadas. Para un tamaño de matriz de 330x240 mm el fabricante recomienda el **modelo número 67**, de placas de 500x400 mm. Puede encontrarse información más detallada sobre el portamatrices en el *Anexo D*.

La placa base inferior ya tiene realizados los agujeros pasantes donde irán alojadas con un ajuste de apriete las 4 columnas guía. Dichas columnas no tienen el mismo diámetro: las 2 columnas que pertenecen al lado de entrada de la chapa son de $\text{Ø}40$ mm y las otras 2 de $\text{Ø}42$ mm, para que el montaje del troquel no se haga del revés.

Hay que **mecanizar los perímetros de corte** sobredimensionados de los punzones, ya que los recortes sobrantes y la pieza final caerán por ahí.

Se taladrarán **4 agujeros pasantes $\text{Ø}13,5$ mm** con refrentado para alojar la cabeza de los tornillos M12 DIN 7984 que unen la placa base inferior al contenedor.

Se tienen que realizar **6 taladros roscados ciegos M8** para unir las guías de banda, la placa matriz y la placa base inferior mediante tornillos M8 DIN 965 (cabeza plana avellanada).

Se taladrarán **4 agujeros pasantes $\text{Ø}8$ mm** para ajustar 4 pasadores DIN 6325.

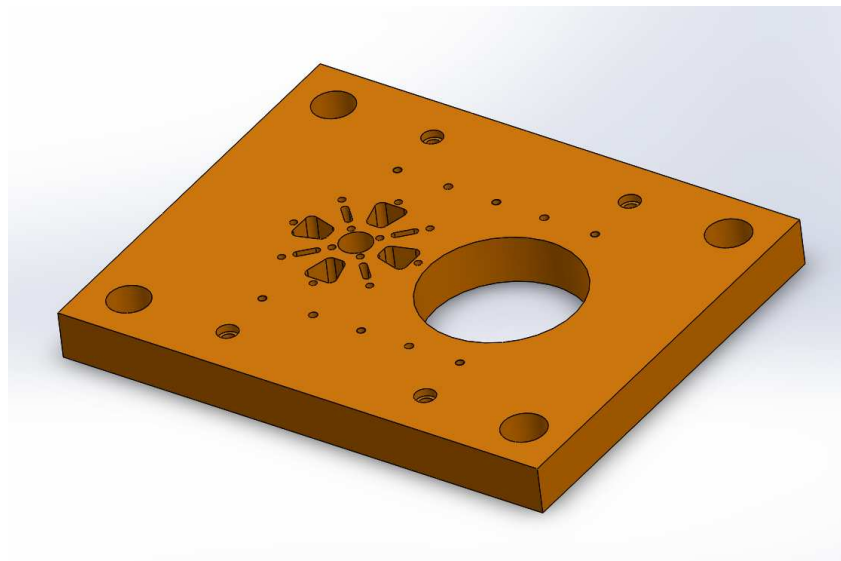


Figura 1.20. *Placa base inferior*

8.3. PLACA MATRIZ

La placa matriz, junto con los punzones, forman la parte más importante del troquel, pues la calidad de las piezas fabricadas depende en gran medida de estas piezas. La placa matriz cuenta con una serie de agujeros cuya forma y localización coincide con la de los punzones. Tal y como se ha determinado en el apartado 4 del documento *Cálculos*, a los perímetros de la placa matriz correspondientes a cortes interiores hay que aplicarles un factor de tolerancia 108 μm .

La placa matriz se fabrica en acero **F-5220** (W. Nr. 1.2510) y tiene unas medidas de **330x240x18** mm. Esta pieza se somete a un tratamiento térmico de temple y posterior revenido (**bonificado**) para obtener una dureza de 60-62 HRc. En el documento *Pliego de Condiciones* se establecen las recomendaciones sobre mecanizado y tratamientos térmicos del acero F-5220.

Se recomienda que la placa matriz posea un espesor de 15 veces el espesor de chapa, lo que daría un espesor recomendado de $1,2 \cdot 15 = 18$ mm, igual al elegido.

La longitud mínima recomendada para la vida de la matriz (sección recta) es de $3 \cdot e$, 3,6 mm. Se le ha adjudicado una **vida de 4 mm**. Para facilitar la expulsión de las piezas, cuando acaba la vida de la matriz los agujeros se van ensanchando de arriba abajo. Para el ángulo de escape o ángulo de salida se ha tomado un valor de **1°**

Se tienen que taladrar **4 agujeros pasantes Ø8 mm** para ajustar 4 pasadores DIN 6325 y 6 agujeros Ø9 mm para que pasen 6 tornillos DIN 965.

Se tiene que **rectificar** los planos superior e inferior de la placa matriz (5mm de espesor de rectificado) y las aristas formadas entre el plano superior de la pieza y los perímetros de corte deben permanecer afiladas.

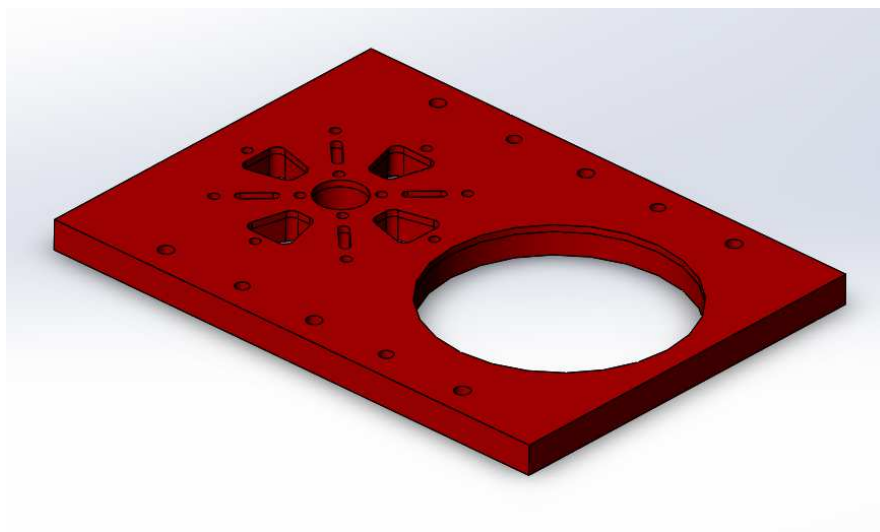


Figura 1.21. *Placa matriz*

8.4. GUÍAS DE BANDA

Las guías de banda son dos reglas prismáticas paralelas con un espesor ligeramente superior al de la banda de chapa que se va a transformar. Su finalidad es la de guiar longitudinal y transversalmente el fleje de chapa mientras esta se desplaza por el interior de la matriz.

Las guías de banda son de acero **F-5220** (W. Nr. 1.2510) y tienen unas medidas de **330x40x4 mm**. Se les realiza un tratamiento de temple y revenido (**bonificado**) para obtener una dureza de 54-56 HRc. Esto es necesario para evitar el desgaste prematuro por fricción con la banda de chapa.

Tienen un **chaflán** en uno de sus lados para facilitar la entrada de la banda de chapa.

En cada una de las guías se tienen que taladrar **2 agujeros Ø8 mm** para ajustar 2 pasadores DIN 6325 y realizar **3 avellanados a 90°** para que se apoyen las cabezas de los tornillos M8 DIN 965.

Se han de **rectificar** las caras interiores de contacto con la banda de chapa.

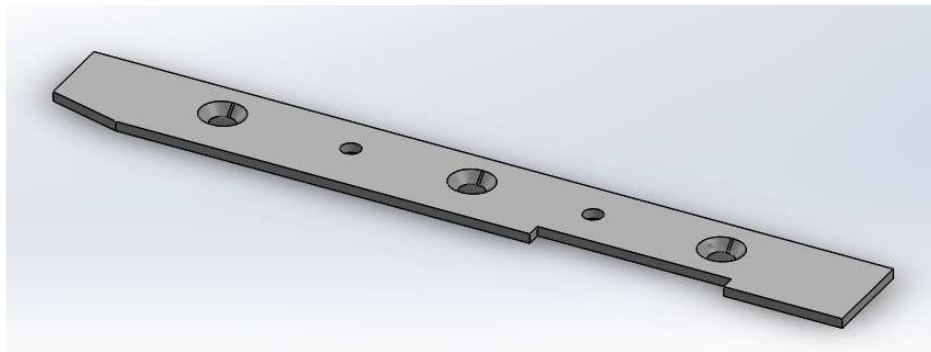


Figura 1.22. *Guía de banda superior*

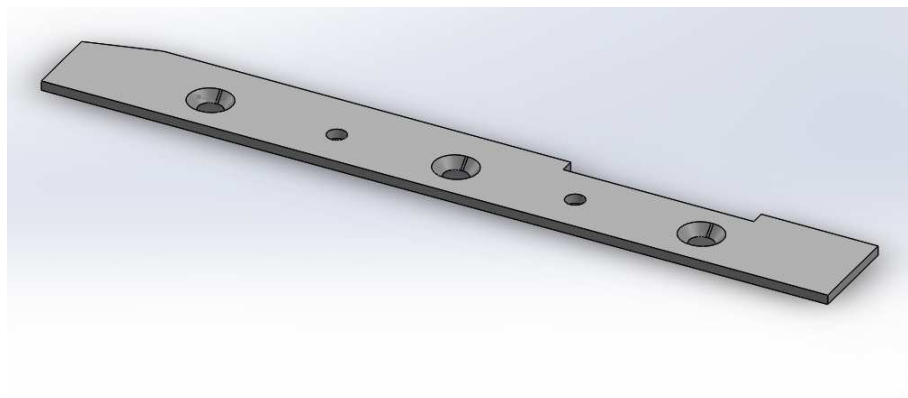


Figura 1.23. *Guía de banda inferior*

8.5. PLACA PISADORA

La placa pisadora pertenece al subconjunto central. Tiene la función de guiar los punzones a lo largo de su carrera y facilitar la extracción de los mismos una vez la chapa ha sido cortada. También **mantiene la chapa plana** y sujeta durante todo el proceso para que esta no flecte y no se creen ondulaciones.

El mecanismo de pisado es posible gracias a los muelles colocados entre la placa guía punzones y la placa superior. Cuando la parte móvil del troquel desciende la placa pisadora hace contacto con la banda de chapa y la mantiene sujeta mientras los punzones continúan su descenso cortando la chapa. Cuando el cabezal inicia el ascenso la placa pisadora deja de hacer presión sobre la chapa y la deja libre hasta el siguiente ciclo.

La placa pisadora se emplea para generar un saliente con respecto a la placa guía punzones y así poder pisar la chapa sin chocar con las guías de banda.

La placa pisadora es de acero **F-1140** (W. Nr. 1.1730) y tiene unas medidas de **330x158x15 mm**. Posee dos segmentos ensanchados 6 mm por la necesidad de guiar el punzón de expulsión (punzón E).

Se tienen que **mecanizar los perímetros de corte**, se tienen que taladrar **4 agujeros Ø8 mm** para ajustar 4 pasadores DIN 6325 y se tienen que realizar **6 taladros roscados pasantes M10** para los tornillos DIN 7984 que unen la placa pisadora con la placa guía punzones.

También se tienen que **rectificar** los planos superior e inferior.

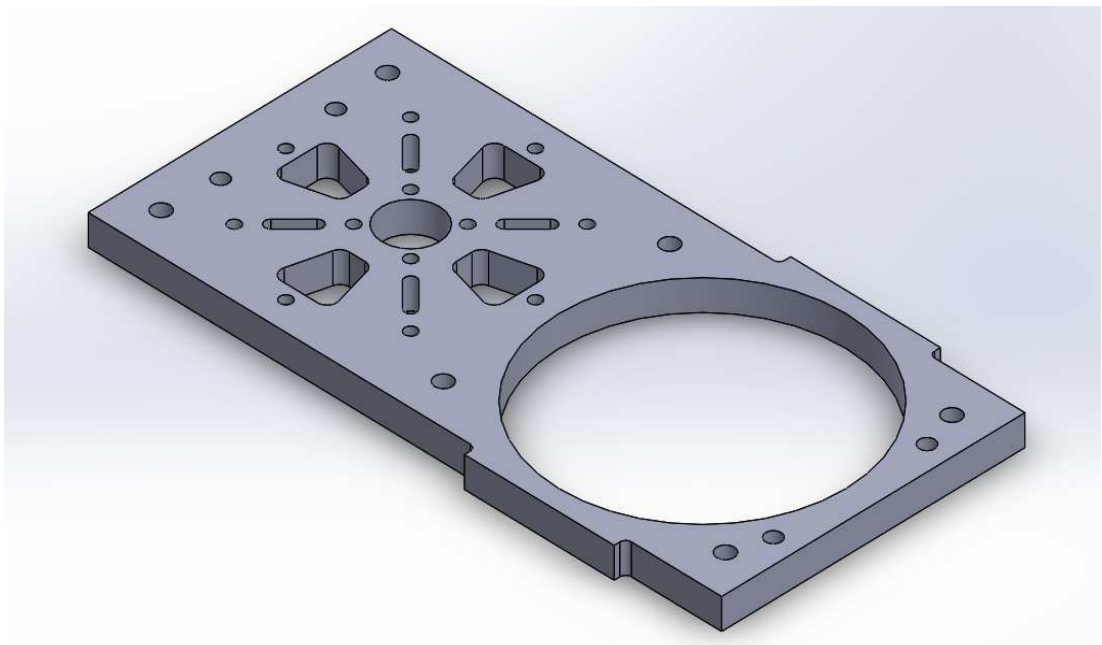


Figura 1.24. *Placa pisadora*

8.6. PLACA GUÍA PUNZONES

La placa guía punzones está guiada mediante casquillos deslizantes y columnas y sirve de soporte a la placa pisadora y a los componentes del sistema elástico de pisado: los resortes helicoidales y los topes guía. Tiene la función de guiar a los punzones durante su recorrido y evitar su pandeo.

Al igual que la placa base inferior y la placa superior, la placa guía punzones proviene del conjunto **Portamatrices Modelo D número 67** de la empresa **INMACISA**.

La placa guía punzones es de acero **F-1120** (W. Nr. 1.0402) y tiene unas medidas de **500x400x32 mm**. Ya tiene realizados los 4 agujeros Ø58 mm en los que se alojan los casquillos guía mediante un ajuste de apriete.

Se tienen que **mecanizar los perímetros de corte**, taladrar **4 agujeros pasantes Ø8 mm** para ajustar 4 pasadores DIN 6325, taladrar **6 agujeros Ø11 mm con refrentado** para la cabeza de los 6 tornillos M10 DIN 7984 que unen la placa pisadora con la placa guía punzones y realizar **14 taladros pasantes M16** donde irán roscados los topes guía de los muelles.

Por motivos de diseño y espacio se ha **rectificado una ranura de 8 mm** de espesor de modo que el conjunto central posea menos altura total.

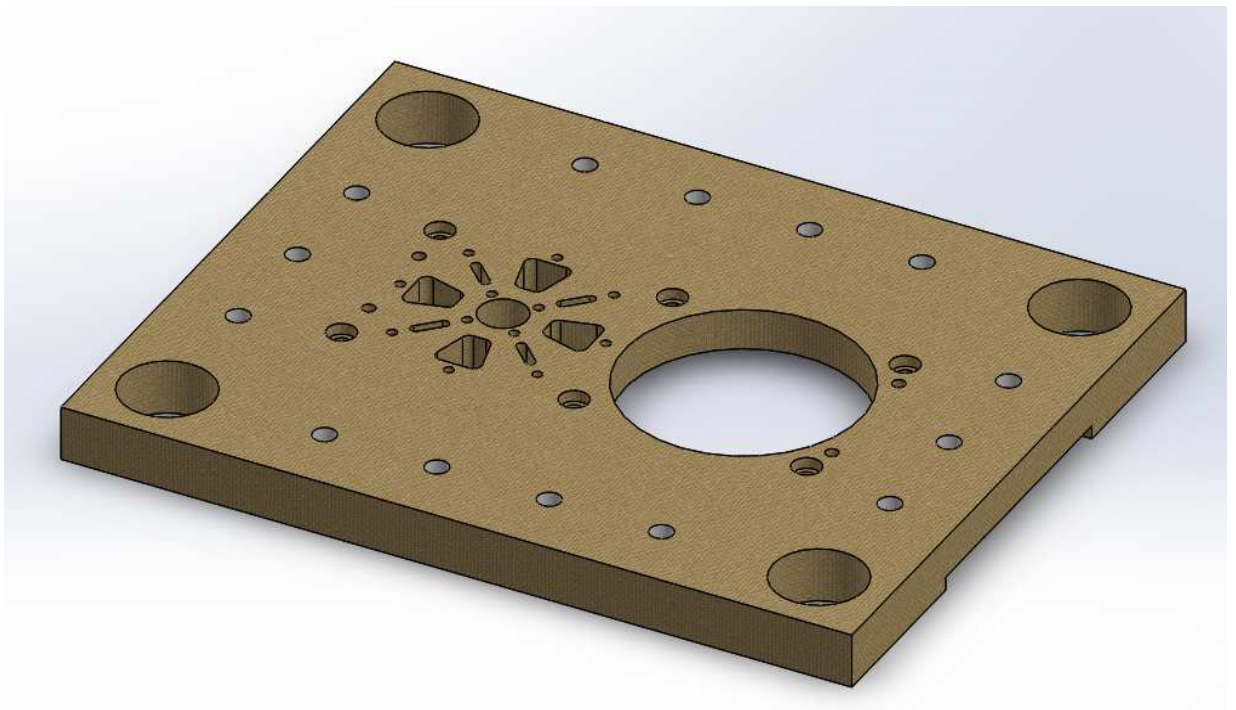


Figura 1.25. *Placa guía punzones*



8.7. PUNZONES

Los punzones son los elementos activos del troquel. Trabajan a compresión y son los elementos más solicitados mecánicamente del troquel, ya que transmiten las fuerzas de corte a través de secciones que pueden llegar a ser pequeñas. Es por esto que **pueden sufrir fenómenos de fatiga y de desgaste superficial**.

Su misión consiste en cortar la chapa según la sección de su plano de trabajo, que generalmente se corresponde con la forma que se desea obtener. Para que trabajen en su punto óptimo los punzones deben estar perfectamente afilados, sin melladuras.

En el troquel diseñado hay **5 punzones de corte diferentes** que se han designado como punzones tipo A, B, C, D y E. Los 4 primeros realizan los agujeros interiores en el disco de freno mientras que el punzón E es el punzón expulsor, el que corta el contorno del disco de freno y expulsa la pieza fabricada por la rampa de salida.

Todos los punzones son de acero **F-5220** (W. Nr. 1.2510) y se les aplica un tratamiento térmico de temple y revenido (**bonificado**) para obtener una dureza 62-64 HRc. El acero elegido es un acero para trabajo en frío. Es muy empleado en la industria para la fabricación de punzones y elementos de matricería en los que es necesario tanto una buena resistencia a compresión como una elevada dureza para reducir el desgaste adhesivo.

En los siguientes apartados se describen las características de cada uno de los punzones.

8.7.1. Punzón tipo A

Los punzones tipo A realizan agujeros de **Ø6 mm**. Se tienen **12 punzones** de este tipo, de los cuales 8 realizan agujeros externos para la refrigeración del disco de freno y 4 realizan los agujeros mediante los cuales el disco se atornilla al buje de la rueda.

Tienen una **longitud de 74 mm** y en la parte superior se ensanchan hasta un diámetro de 9 mm para acoplarse con apriete en el rebaje de la placa porta punzones. Esta decisión se debe a su pequeño diámetro, que impide atornillarlos a la placa superior.

El ensanchamiento se produce en dos etapas, primero a Ø7 mm y después a Ø9 mm.

Se realizó un **diseño previo** en el que la cara de corte era completamente recta y la transición de Ø6 a Ø7 mm se hacía en esquina, pero mediante el estudio de tensiones con el **Método de Elementos Finitos** se obtuvieron unos valores de tensiones muy elevados en la transición de diámetros, 650 MPa aproximadamente, y en las aristas de corte, de entorno a 1250 MPa (véase apartado 7.2.1 del documento *Cálculos*).

Con el fin de reducir los valores de tensiones se ha realizado un **segundo diseño** que incluye el afilado en forma de cono de 1 mm de altura en la punta del punzón. De esta manera la distribución de cargas hace que los cantos sufran menos y se obtiene una tensión en aristas de aproximadamente 730 MPa (véase apartado 7.3.2 del documento *Cálculos*). También se ha redondeado la zona de cambio de diámetros con un radio de 8 mm y se ha conseguido disminuir las tensiones prácticamente al valor nominal de tensión máxima del punzón: 470 MPa. Se ha achaflanado a 45° la zona del alojamiento.

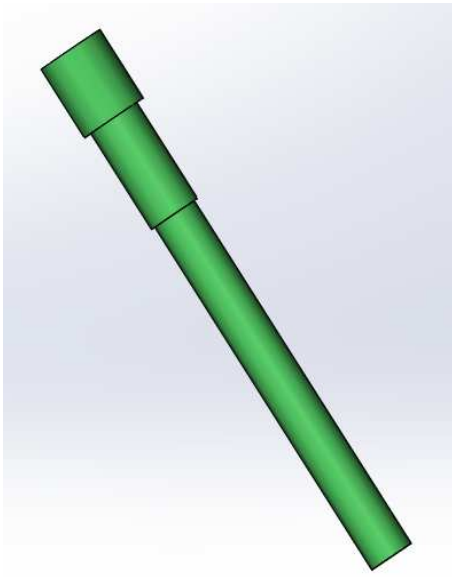


Figura 1. 26. *Diseño previo de Punzón tipo A*

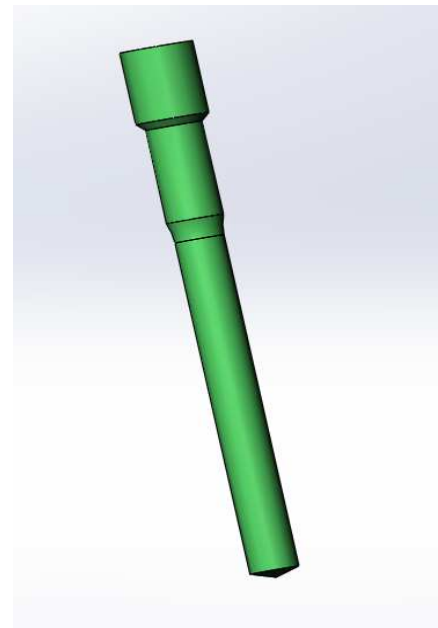


Figura 1.27. *Diseño final de Punzón tipo A*

8.7.2. Punzón tipo B

Se tienen **4 punzones de este tipo**. Realizan agujeros con forma de trapecio con esquinas redondeadas. Tienen una **longitud de 72 mm** y en la parte superior tienen un taladro roscado de **M10** para alojar el tornillo de cabeza hueca hexagonal DIN 7984 que une el punzón con la placa superior.

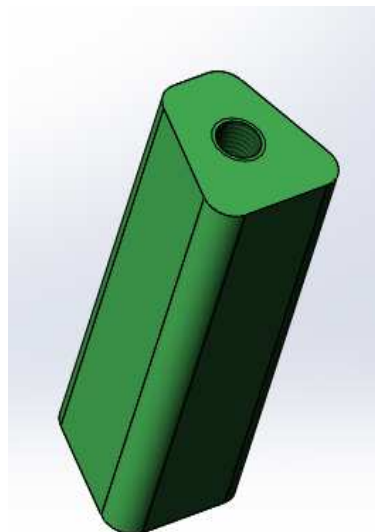


Figura 1.28. *Punzón tipo B*

8.7.3. Punzón tipo C

Se tiene un único punzón de este tipo. Realiza un agujero circular de **Ø30 mm** en el que se aloja el eje de la rueda. Este punzón tiene una **longitud de 72 mm** y en la parte superior tienen un taladro roscado de **M10** para alojar el tornillo de cabeza hueca hexagonal DIN 7984 que une el punzón con la placa superior.



Figura 1.29. *Punzón tipo C.*

8.7.4. Punzón tipo D

Se tienen **4 punzones de este tipo**. Realizan **ranuras** de 17 mm de distancia entre centros y 6 mm de anchura. Al igual que los punzones tipo A, estos también se alojan en la placa porta punzones mediante **cabeza mecanizada** y alojamiento en la placa. Estos punzones tienen una **longitud de 72 mm**.

La reducción de tamaño desde el alojamiento a la sección de trabajo se realiza con una etapa intermedia y achaflanado de caras para evitar concentradores de tensión.

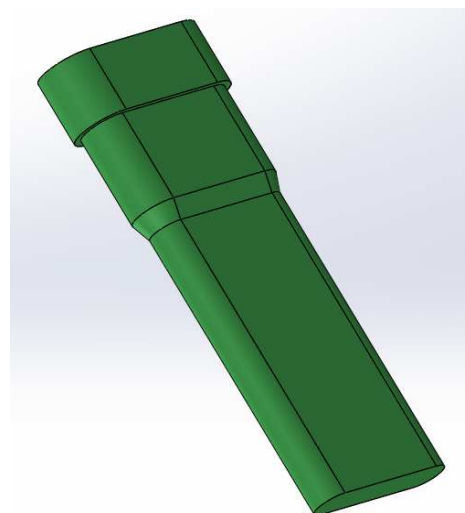


Figura 1. 30. *Punzón tipo D*

8.7.5. Punzón tipo E

Se tiene **un único punzón** de este tipo. Es el **punzón de expulsión**, el que corta el contorno de la pieza y le da forma circular. Al tratarse del punzón expulsor a la medida nominal del diámetro exterior del disco de freno se le resta la tolerancia de corte calculada de $108\ \mu\text{m}$ Su diámetro es por lo tanto de $149,892\ \text{mm}$.

Tiene una longitud de **74 mm** y en la parte superior tiene un **taladro roscado ciego M20** para el tornillo DIN 7984 que une el punzón con la placa base superior.

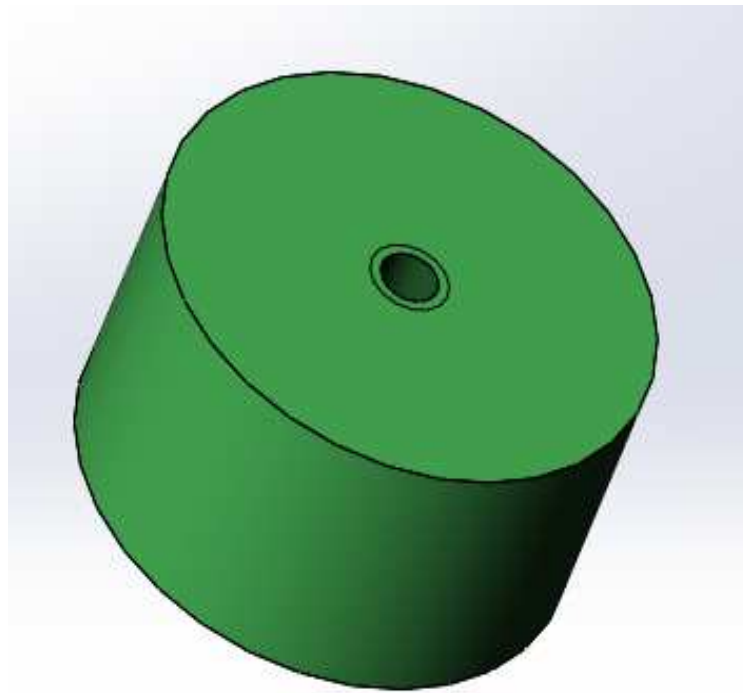


Figura 1.31. *Punzón tipo E*

8.8. PLACA PORTA PUNZONES

La placa porta punzones es el **componente del troquel en el que se alojan los punzones**, de forma que estos se desplazan solidarios a la placa según el movimiento rectilíneo alternativo que le imprime la prensa a la máquina.

El **anclaje** de los punzones se ha realizado de **2 formas** diferentes. Debido a su reducido tamaño los punzones tipo A y D van alojados en la placa porta punzones mediante un rebaje cilíndrico de 10 mm y son soportados durante el corte por la placa sufridera. Los punzones tipo B, C y E van atornillados a la placa base superior, exceptuando uno de los punzones tipo B, que se atornilla a la placa sufridera para evitar interferencias con el vástago de sujeción.

La placa porta punzones es de acero **F-1140** (W. Nr. 1.1730) y tiene unas medidas de **330x240x24 mm**. Se recomienda que la placa porta punzones tenga un espesor de 1/3 de la longitud de los punzones. Tomando como referencia los punzones de 72 mm, el espesor recomendado es de $72/3=24$ mm, el elegido.

Los alojamientos para los punzones generalmente se mecanizan mediante **electroerosión por penetración** (descripción del proceso disponible en el *Anexo B*).

Se tienen que realizar **4 agujeros pasantes Ø10 mm** para ajustar 4 pasadores DIN 6325.

Se tienen que taladrar **6 agujeros roscados pasantes M12** para los 6 tornillos M12 DIN 7984 que unen la placa porta punzones, la placa sufridera y la placa superior.

Se tiene que **rectificar el plano superior** de la placa.

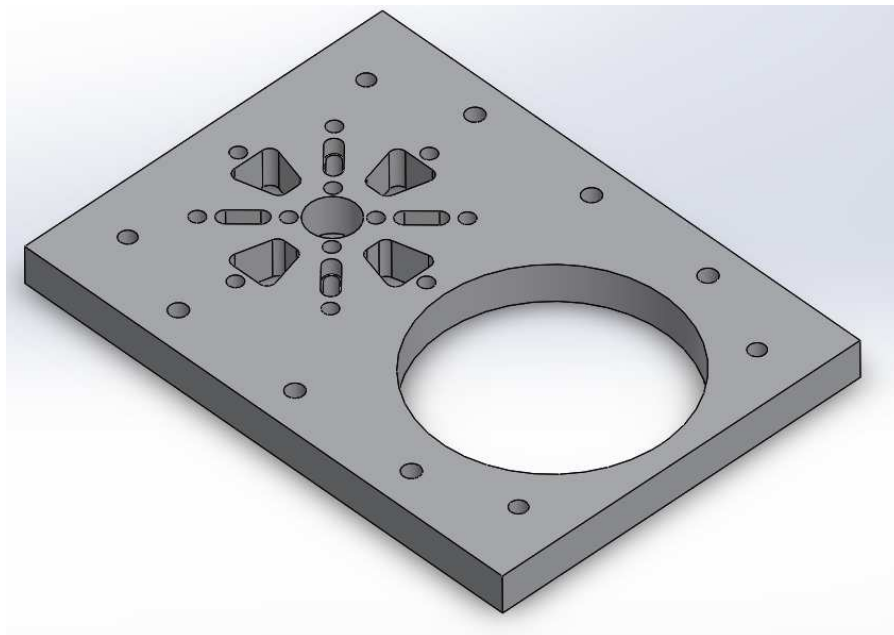


Figura 1.32. *Placa porta punzones*

8.9. PLACA SUFRIDERA

La placa sufridera se coloca entre la placa porta punzones y la placa superior del troquel y sirve para **evitar que los punzones se claven** en la placa superior, absorbiendo sobre su superficie inferior los continuos impactos que recibe de los punzones.

La placa sufridera se fabrica en acero **F-5220** (W. Nr. 1.2510) y tiene unas dimensiones de **330x240x10 mm**. Se ha de someter a un tratamiento térmico de temple y un posterior revenido (**bonificado**) para que obtenga una dureza 56-58 HRc.

Se tienen que realizar **4 agujeros Ø10 mm** para ajustar 4 pasadores DIN 6325.

Se tienen que realizar **6 agujeros Ø13,5 mm** para que pasen los 6 tornillos M12 DIN 7984 que unen la placa porta punzones, la placa sufridera y la placa superior.

También se tienen que **taladrar 4 agujeros Ø11 mm** para que pasen los 4 tornillos M10 DIN 7984 que unen 3 de los punzones B y el punzón C con la placa superior y **un agujero Ø22 mm** para que pase el tornillo M20 DIN 7984 que une el punzón E con la placa superior.

Se realizará un agujero de **Ø11 mm con refrentado** para la cabeza del tornillo M10 DIN 7984 que une uno de los punzones B con la placa sufridera.

Se tienen que **rectificar** las caras de apoyo de la pieza

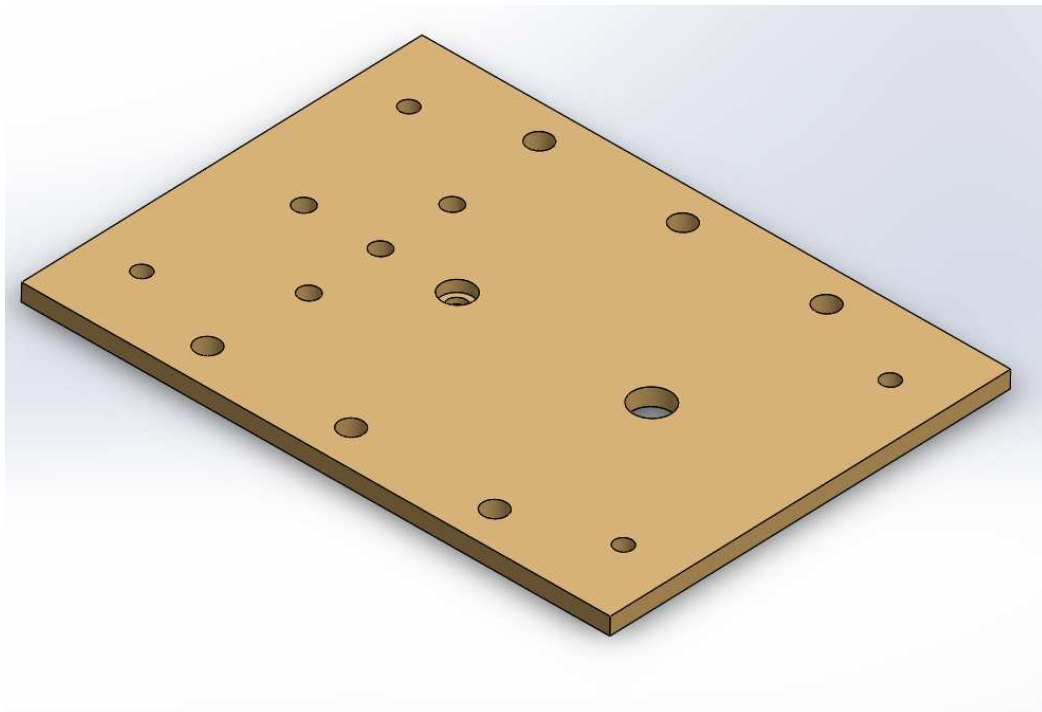


Figura 1.33. *Placa sufridera*

8.10. PLACA SUPERIOR

La placa superior es el soporte sobre el cual van unidos mediante tornillos y pasadores todos los elementos del subconjunto superior formando un solo bloque.

Al igual que la placa base inferior y la placa guía punzones, la placa superior proviene del conjunto **Portamatrices Modelo D número 67** de la empresa *INMACISA*.

La placa base superior es de acero **F-1120** (W. Nr. 1.0402) y tiene unas medidas de **500x400x42 mm**. Ya tiene realizados los 4 agujeros $\text{Ø}58$ mm en los que se alojan los casquillos guía mediante un ajuste de apriete.

Se tienen que taladrar **4 agujeros $\text{Ø}10$ mm** para ajustar 4 pasadores DIN 6325, **14 agujeros $\text{Ø}20$ mm con refrentado a $\text{Ø}30$ mm** para alojar la cabeza de los topes guía y **6 agujeros $\text{Ø}13,5$ mm con refrentado** para la cabeza de 6 tornillos M12 DIN 7984 que unen la placa porta punzones, la placa pisadora y la placa superior.

También hay que realizar **4 agujeros $\text{Ø}11$ mm con refrentado** para la cabeza de 4 tornillos M10 DIN 7984 que unen 3 de los punzones B y el punzón C con la placa superior.

Hay que taladrar un **agujero $\text{Ø}22$ mm con refrentado** para la cabeza del tornillo M20 que une el punzón E con la placa superior.

Se tiene que realizar 1 **agujero roscado pasante M30** para un vástago DIN 9859.

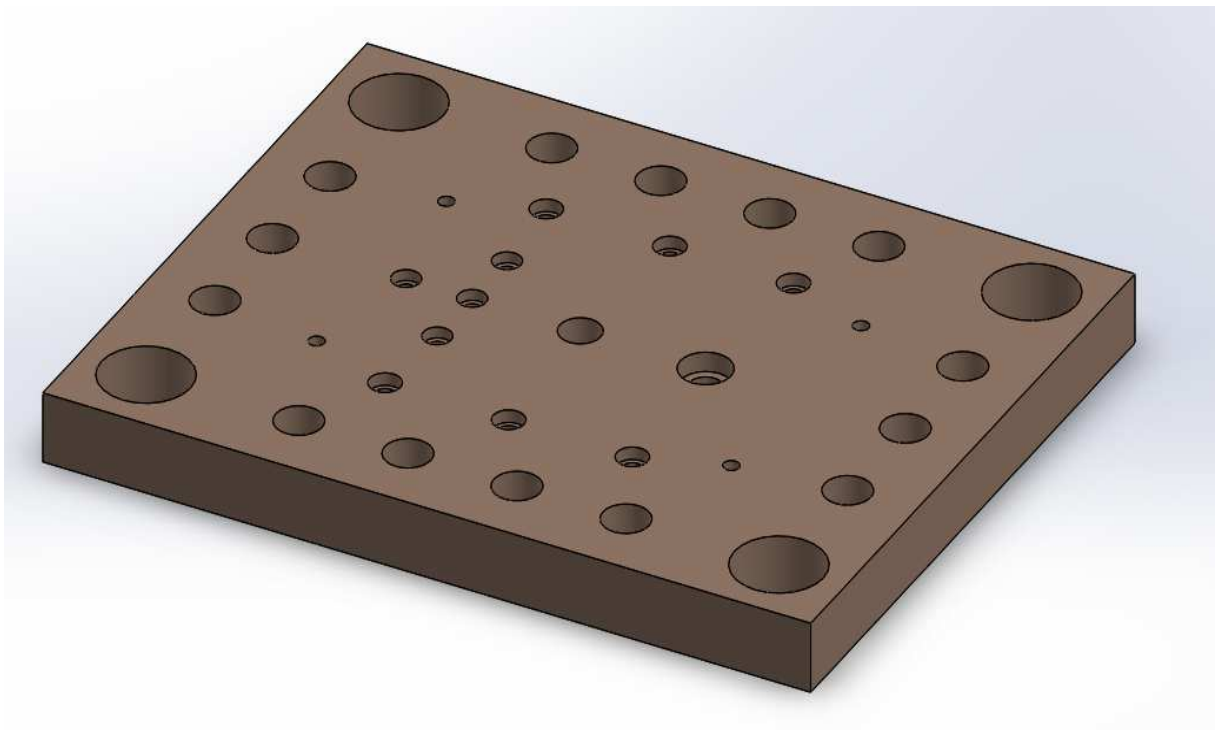


Figura 1.34. *Placa superior*

8.11. ELEMENTOS COMERCIALES

El empleo de elementos comerciales o normalizados en la fabricación de matrices progresivas supone una simplificación desde el punto de vista de diseño y en la mayoría de los casos también un ahorro económico.

En los siguientes apartados se describirán las características generales de los elementos comerciales empleados en el diseño del troquel de matriz progresiva. Para una información más detallada sobre las características de estos elementos, véanse los catálogos del *Anexo D*.

8.11.1. Vástago

El vástago es el **nexo de unión** entre la placa superior del troquel y el cabezal de la prensa. En troqueles de gran tamaño la placa superior puede ir atornillada al cabezal de la prensa, pero en matrices de tamaño medio como en este caso el troquel se acopla al cabezal mediante el vástago.

El diámetro del vástago se determina en función de la fuerza de la prensa, tal y como indica la siguiente tabla:

Fuerza de la prensa (Tn)	5	8	10	15	20	30	40	60
Diámetro del vástago (mm)	25	25	30	35	35	40	40	45

La fuerza de la prensa es de **66,25 Tn** (calculada en el apartado 6.1 del documento *Cálculos*), por lo que se requiere de una extrapolación de la tabla anterior. Para ello se emplea la siguiente gráfica en la que se ha introducido una línea de tendencia de carácter potencial:

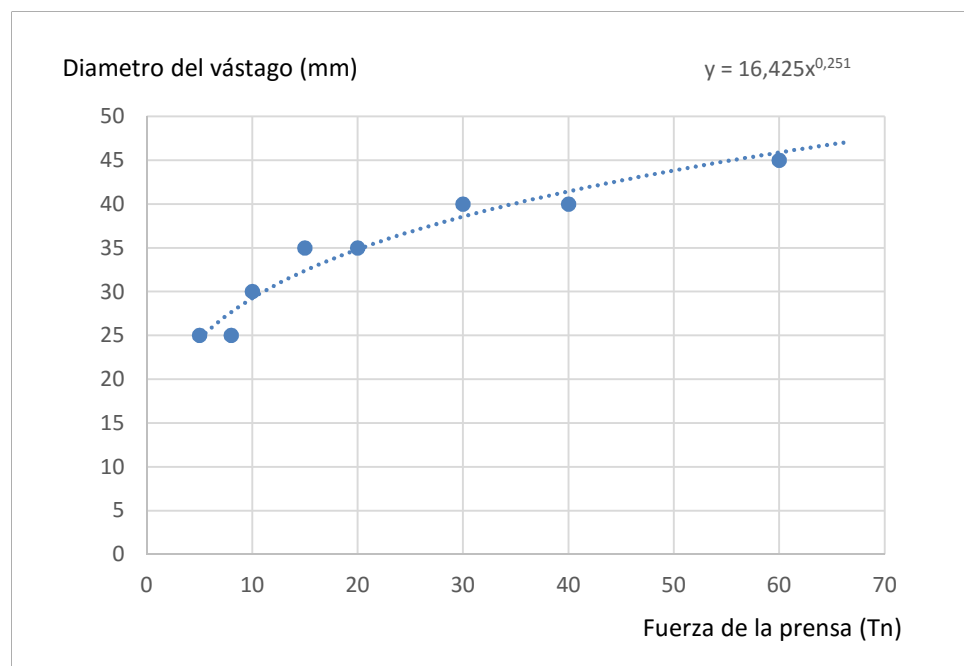


Figura 1.35. Diámetro del vástago en función de la fuerza de la prensa

Empleando la ecuación de la línea de tendencia se obtiene un diámetro del vástago necesario de 47 mm.

Se ha elegido un vástago según la norma **DIN 9859**, con un **diámetro de 50 mm**, longitud de 108 mm y una rosca de métrica M30. Está realizado de acero aleado. El proveedor es la empresa alemana **FIBRO**.



Figura 1.36. Vástago de sujeción DIN 9859

Fuente: *Catálogo FIBRO*.

8.11.2. Columnas guía

Las columnas guía son piezas cilíndricas que forman parte del sistema de guiado de la parte móvil de troquel. Son elementos fijos que se clavan en la placa base inferior con un ajuste de apriete.

Estos elementos también aseguran una perfecta alineación de la parte móvil respecto a la parte fija del utillaje.

Se emplean 4 columnas de **longitud 220 mm**, 2 de ellas **Ø40 mm** y las otras 2 **Ø42 mm**, para que el montaje del conjunto no se haga del revés.

Las columnas escogidas son del tipo **columna lisa Modelo F** de la empresa **INMACISA**, de acero 1.7264 y con una dureza de 60-62 HRc. Precisan elevada dureza para disminuir el desgaste por rozamiento con los casquillos guía.

8.11.3. Casquillos guía

Los casquillos guía son piezas cilíndricas huecas que forman parte del sistema de guiado y alineado del troquel.

Se necesitan un total de **8 casquillos guía** de la empresa **INMACISA**.

En la placa superior van clavados **4 Casquillos Valona Modelo M** (2 de Ø40x65 y 2 de Ø42x65).

En la placa guía punzones van clavados **4 Casquillos Valona Corta Modelo P** (2 de Ø40x48 y 2 de Ø42x48).

Estos casquillos guía están fabricados de acero 1.7264 y tienen una dureza de 60-62 HRC.

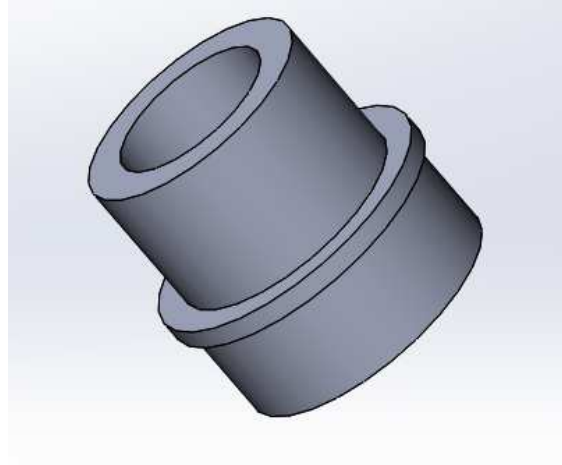


Figura 1.37. Casquillo guía Ø40x65 diseñado en SolidWorks

8.11.4. Muelles

Los muelles utilizados en matricería son de tipo helicoidal, trabajan bajo cargas de compresión y sus fibras trabajan a torsión. Su principal aplicación se da en las matrices dotadas de sistema elástico para pisado de la chapa y expulsión de los punzones.

Una vez realizados los cálculos pertinentes (véase apartado 5. ELECCIÓN DE LOS MUELLES del documento *Cálculos*), los muelles escogidos son **14 muelles DIN 17225 A38x50 mm** de la empresa *INMACISA*.

Estos muelles están fabricados de acero aleado al cromo vanadio, son de **carga extrafuerte** (color amarillo) e irán guiados por topes guía. Sus características principales son las siguientes:

Ø Orificio	Ø Varilla	Sección hilo	Constante k	Longitud	Deflexión máxima
38 mm	19 mm	7,2x8,6 mm	578 N/mm	50 mm	12,5 mm

8.11.5. Topes guía

Los topes guía son unos tornillos que se emplean como **guía de los resortes helicoidales** de las matrices con pisador para evitar que los muelles se tuerzan demasiado durante los ciclos de trabajo. A la vez, cuando la matriz está abierta, son los elementos responsables de mantener la parte móvil del utillaje formando un solo bloque. Estos elementos trabajan bajo esfuerzos de tracción.

Se necesitan **14 topes guía**, 1 para cada muelle, que serán del tipo **Modelo TGM M16x60** de la empresa *INMACISA*. El diámetro de la espiga ha de ser de 19 mm, ya que es el diámetro de varilla necesario para guiar los muelles elegidos.

Estos topes guía son de acero aleado y tienen una dureza de 46-48 HRc.



Figura 1.38. *Topes guía M16x60 diseñado en SolidWorks*

8.11.6. Tornillos

Se han empleado dos tipos de tornillos: tornillos de cabeza cilíndrica y hueco hexagonal (**DIN 7984**) y tornillos de cabeza cónica y hueco cruciforme (**DIN 965**).

Se utilizarán **6 tornillos DIN 965** M8x40 de acero endurecido 8.8 y **22 tornillos DIN 7984** (10 tornillos M12x60, 7 tornillos M10x30, 4 tornillos M10x70 y 1 tornillo M20x70) de acero de acero endurecido 8.8 de la empresa *Hispanox*.

8.11.7. Pasadores

Los pasadores empleados son elementos mecánicos cilíndricos cuya misión es posicionar en el plano perpendicular al movimiento de corte los distintos elementos sobre los que van montados, dentro de un agujero escariado y con un **ajuste a presión**.

Se utilizarán **12 pasadores paralelos DIN 6325** (4 pasadores Ø8x36, 4 pasadores Ø8x60 y 4 pasadores Ø10x70) de acero endurecido de la empresa *Hispanox*.



Figura 1.39. *Pasador paralelo DIN 6325*

Fuente: <http://www.hispanox.com>



9. PRESUPUESTO

En la siguiente tabla se resumen los costes del troquel diseñado. Todos los costes y tablas se encuentran detalladas en el documento *Presupuesto*.

El coste total del troquel se calcula como la suma de los costes de **diseño del proyectista**, los **costes de materiales** y los **costes de montaje y pruebas**:

	COSTE (€)
DISEÑO DEL PROYECTISTA	7953
COSTE MATERIALES	4417,82
MONTAJE Y PRUEBAS	1065
TOTAL	13435,59

Tabla 1.6. *Coste del troquel diseñado*

El coste total del troquel diseñado en este proyecto es de **13435,59 €**.

El precio de venta unitario para la amortización del troquel para una tirada de aproximadamente 20000 piezas es de **1,18 €**.

Este un precio **bajo** para tratarse de un disco de freno, pues los precios de discos de freno de acero inoxidable de gama media rondan los 30 € en tienda o 20 € en fábrica.

Hay que tener en cuenta que una vez fabricados, estos han de someterse a un tratamiento térmico de recocido para la eliminación de tensiones residuales por proceso de deformación plástica en frío.

10. LA PRENSA

El troquel de matriz progresiva diseñado no funciona como elemento mecánico autónomo ya que necesita ser accionado por una máquina llamada prensa que le transmite la potencia necesaria para realizar las operaciones de corte.

Una prensa puede definirse como una máquina capaz de proporcionar una fuerte compresión mecánicamente, bien por medio de algún fluido o bien aprovechando la energía previamente acumulada.

La prensa y el troquel se unen mediante el vástago, que es el encargado de transmitir los esfuerzos. Este es un elemento que trabaja bajo grandes esfuerzos de compresión, por lo que debe seleccionarse correctamente.

La prensa le transmite al troquel un movimiento vertical alternativo mediante el cual el conjunto diseñado corta la chapa según la geometría establecida. Este movimiento se repite en el tiempo con una frecuencia o cadencia determinada que debe coincidir con la frecuencia de avance del fleje de chapa para que el proceso quede totalmente automatizado.



Figura 1.40. Ejemplo: Prensa mecánica de 100 toneladas

Fuente: *LA PRENSA* (ASCAMM).

10.1. TIPOS DE PRENSAS

Así como se construyen diferentes tipos de troqueles para realizar los distintos tipos de deformación de la chapa, también existen numerosos tipos de prensas. En este apartado se hará una clasificación general de los tipos de prensas existentes a nivel industrial y se describirán los procesos para los cuales se adapta mejor cada tipo de prensa.

Existen multitud de parámetros mediante los cuales pueden clasificarse las prensas, pero a nivel de taller se clasifican de una manera simplificada en función del modo de transferencia de energía. Se distinguen las prensas **mecánicas** y las **hidráulicas**.

10.1.1. Prensas de accionamiento mecánico

Las prensas mecánicas son aquellas que acumulan energía mecánica (cinética) mediante un volante de inercia y la transmiten a un troquel o matriz mediante un **sistema mecánico**, generando un movimiento rectilíneo alternativo del cabezal.

El volante de inercia es un elemento pasivo, de geometría circular, que le aporta al sistema una inercia adicional de modo que le permite almacenar energía cinética. El volante de inercia es movido por un motor eléctrico, que en la mayoría de los casos de corriente alterna.

La transformación del movimiento rotativo del volante de inercia en movimiento lineal alternativo se lleva a cabo mediante una cadena cinemática. La cadena cinemática está formada por árboles de transmisión dotados de excéntricas o cigüeñales sobre los que se montan una, dos o más bielas. El principio de funcionamiento se basa en el clásico mecanismo biela-manivela. Como se verá a continuación, la variante excéntrica-biela se emplea con más frecuencia.

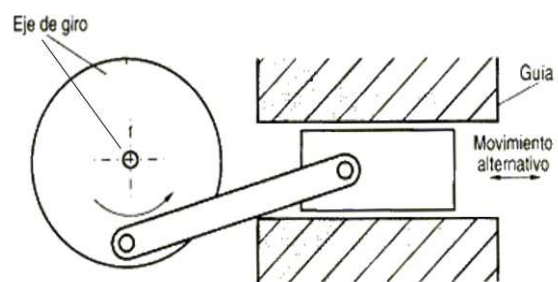
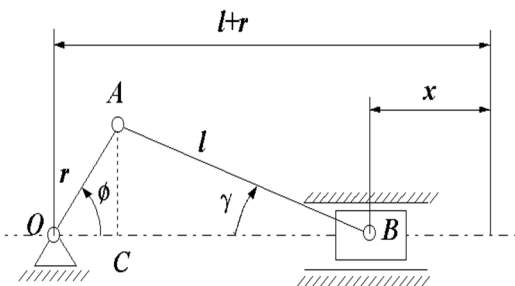
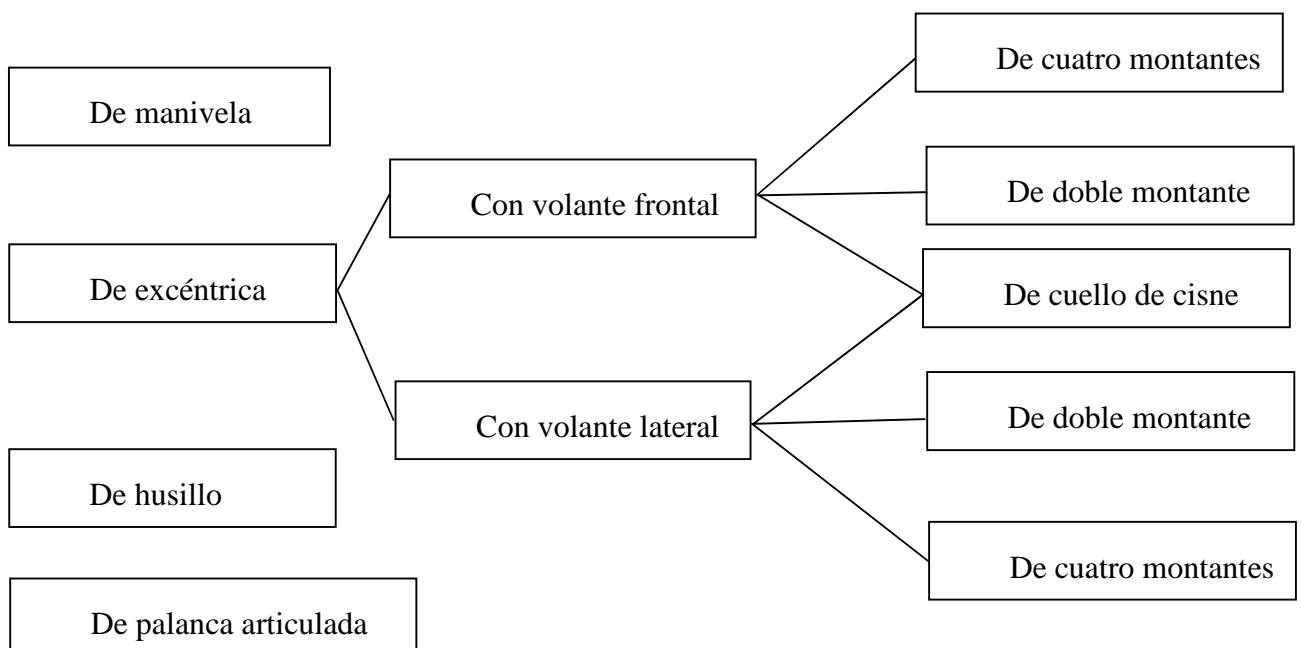


Figura 1. 41. Mecanismo biela-manivela **Figura 1. 42.** Mecanismo excéntrica-biela

En el siguiente esquema se puede ver la clasificación general de las prensas de accionamiento mecánico:



Tal y como puede observarse en el esquema anterior, las prensas mecánicas se clasifican en primer lugar por el tipo de mecanismo de transmisión empleado en la cadena cinemática. Otro parámetro de clasificación es la posición del volante de inercia, que puede ser frontal o lateral. Por último, en función de la forma del bastidor las prensas son generalmente de cuello de cisne, de doble montante o de cuatro montantes.



Figura 1.43. Prensa mecánica de volante lateral y doble montante

Fuente: LA PRENSA (ASCAMM).

CARACTERÍSTICAS Y APLICACIONES

Las prensas de accionamiento mecánico son ampliamente utilizadas para **operaciones de corte, estampación y doblado**. También se emplean para pequeñas embuticiones, pero no son muy adecuadas para embuticiones profundas porque aplican la fuerza de forma rápida y no constante. No obstante, debido al desarrollo de prensas con cinemática compleja, en los últimos años se ha logrado que este tipo de prensas pueda usarse para embuticiones más profundas.

Las prensas mecánicas presentan una **mayor rapidez de funcionamiento** y generalmente presentan **precios inferiores** que las prensas hidráulicas equivalentes. Las prensas mecánicas son las más utilizadas en el mundo de la matricería, ya que permiten alcanzar altas velocidades de producción.

Dentro de las prensas mecánicas la más empleada en matricería es la prensa de excéntrica en todas sus variantes. La prensa mecánica de excéntrica presenta una gran versatilidad y es capaz de trabajar con altas cadencias, por lo que es un modelo ideal para el troquelado de piezas de tamaño pequeño y mediano.

10.1.2. Prensas de accionamiento hidráulico

Las prensas hidráulicas son aquellas que emplean la **fuerza generada por un fluido** (agua en las prensas antiguas, aceite en las modernas) sometido a presión que circula por el interior de un circuito hidráulico. Este fluido es impulsado por una bomba que es accionada a

su vez por un motor. Con el empleo de válvulas reguladoras pueden controlarse parámetros de trabajo tales como la velocidad o la carrera.

Generalmente las prensas hidráulicas se dividen en prensas de **simple efecto** y prensas de **doble efecto**, en función del número de correderas que posean. Sin embargo, al igual que en las prensas mecánicas, otra posible clasificación es la clasificación en función de la geometría del bastidor. En ese caso se dividen en prensas de **cuello de cisne**, prensas de **doble montante** y prensas de **cuatro montantes**.



Figura 1.44. Prensa hidráulica de simple efecto **Figura 1.45.** Prensa hidráulica de doble efecto

Fuente: LA PRENSA (ASCAMM).

CARACTERÍSTICAS Y APLICACIONES

Las prensas hidráulicas se emplean generalmente en **matricería pesada**. Aun así, estos robustos troqueles también pueden trabajar bajo prensas de accionamiento mecánico dotadas de varias bielas o bajo prensas que combinen la acción conjunta de ambos sistemas, mecánico e hidráulico, simultáneamente. A estas prensas se les conoce como prensas de acción combinada.

Para que las prensas hidráulicas puedan competir con las mecánicas, estas deben poseer las cualidades de uno y otro tipo; es decir, deben reunir las ventajas que presentan las prensas mecánicas (alta velocidad de producción y autonomía), y las de las prensas hidráulicas (posibilidad de regulación de parámetros del proceso: carrera y velocidad).

Generalmente las prensas hidráulicas tienen un mayor coste que las prensas mecánicas equivalentes.

10.2. ELECCIÓN DE LA PRENSA

La selección de la prensa es un **paso clave** a la hora de diseñar un proceso de troquelado. Para hacer una buena elección primero se determina el tipo de prensa más adecuado para el proceso y posteriormente se elige el modelo necesario en función de la fuerza que vaya a proporcionar la prensa al troquel.

Para la elección del tipo de prensa es necesario tener en cuenta la geometría de la pieza que vamos a fabricar y también la dimensión y el tipo de troquel empleado. En nuestro caso se trata de una pieza de tamaño mediano que no posee embuticiones, por lo que una **prensa mecánica de excéntrica** es la mejor opción. Este tipo de prensas se emplean para troqueles de matriz progresiva.

Las prensas mecánicas de excéntrica de volante frontal poseen el árbol de transmisión con un único punto de apoyo y es por esto que se emplean para fuerzas limitadas, de entre 20 y 40 toneladas.

Como en este caso la prensa tiene que realizar una fuerza de **66.25 toneladas** (véase apartado 6.1 del documento *Cálculos*) es más recomendable emplear una prensa de excéntrica de **volante lateral**, que tiene dos puntos de apoyo en el árbol de transmisión y se emplea para fuerzas de entre 20 y 400 toneladas.

En cuanto a la geometría del bastidor, las prensas de cuello de cisne presentan una menor rigidez y son accesibles por el frente y por los laterales. Las de dos y cuatro montantes, en cambio, presentan una mayor rigidez, pero solo son accesibles por el frente.

En conclusión, la prensa que mejor se adapta al proceso diseñado es una **prensa mecánica de excéntrica de volante lateral y bastidor de cuello de cisne**. La fuerza que proporciona debe de ser superior a la antes mencionada.



Figura 1.46. *Ejemplo del tipo de prensa elegida*

Fuente: LA PRENSA. (ASCAMM)



11. ASPECTOS MEDIOAMBIENTALES

Es importante tener en cuenta el posible impacto medioambiental que genera el proceso de fabricación mediante el troquel diseñado. Al tratarse de un útil que transforma una materia prima en un producto final, se generan una serie de desperdicios que conviene en primer lugar, **minimizar**. Esto se consigue eligiendo un anidamiento tal que el **aprovechamiento** de chapa sea el **máximo** posible (*véase apartado 5.4*).

Por otro lado, como los recortes sobrantes de chapa se recogen fácilmente gracias al contenedor diseñado, pueden venderse a 0,15 €/kg. De esta manera se consigue **reutilizar** el acero sobrante y además se obtiene una pequeña retribución económica.

También hay que prestar gran atención a la **contaminación acústica**, ya que durante el troquelado de la chapa se producen altos niveles de ruido provocados por los continuos golpes que provocan los punzones sobre la chapa. Para disminuir los niveles de ruido al exterior se recomienda encerrar los troqueles y proporcionar a los operarios orejeras o tapones (*véase apartado 3 de Pliego de condiciones*).

Desde el punto de vista de la limpieza, todo fluido lubricante sobrante (generalmente aceites sintéticos industriales) tendrá que ser almacenado y llevado al **punto limpio** más cercano, para que sea debidamente tratado.



12. CONCLUSIONES Y LINEAS FUTURAS

Una vez desarrollado el proyecto **se han cumplido los dos objetivos principales** definidos en el *apartado 1.1*.

Por un lado, se han **diseñado** todos los componentes que forman el troquel para la fabricación de la pieza elegida, el disco de freno. En el diseño han intervenido tanto elementos comerciales como diseñados, y una vez realizado el ensamblaje completo se ha obtenido un troquel de **tamaño medio** y con una masa de aproximadamente **325 kg**.

Por otro lado, se ha **justificado el empleo de troqueles de matriz progresiva** para la fabricación de **tiradas medias** en piezas con alto valor añadido en la transformación. Esto permite ver la versatilidad en el rango de producciones del proceso de troquelado, ya que se emplean tanto para producir tiradas de millones de arandelas pequeñas como para embutir chapas grandes para el capó de automóviles.

Durante el desarrollo del proyecto se ha visto que lo que a priori parecía un proceso de fabricación sencillo requiere el empleo de **aceros de calidad**, con **alta dureza y resistencia**, gran **precisión dimensional** y **buenos acabados superficiales**. El empleo de tratamientos térmicos para los aceros y el desarrollo y mejora de procesos de fabricación por arranque de viruta y por electroerosión hacen que sea posible obtener estas características necesarias.

Durante el proceso de fabricación es imprescindible prestar atención a dos cuestiones realmente importantes: los aspectos de **seguridad** y el **mantenimiento**. El mantenimiento contribuye a preservar aquellas características citadas que deben cumplir algunos de los componentes y a reducir gastos por roturas y paros de producción.

El proyecto se ha definido y justificado para una tirada de aproximadamente 20000 unidades. De cara al **futuro**, una vez alcanzada esa producción y si la aceptación de la pieza es buena, se puede plantear una **segunda tirada de producción** en la que se obtendría un mayor beneficio, pues el troquel ya se habrá sido amortizado con la primera. Si esto se decidiese, resulta necesario hacer un mantenimiento íntegro del troquel y recambiar todos los punzones de corte, ya que, aunque mecánicamente puedan seguir trabajando, los fenómenos de desgaste habrán variado sus dimensiones.



13. NORMATIVA

La normativa aplicada para la realización del proyecto desde el punto de vista de oficina técnica es la siguiente:

[1] **NORMA UNE-1-039-94**, *en la que se establecen los principios generales de acotación aplicables a los dibujos técnicos de todos los sectores (mecánica, electricidad, ingeniería civil, arquitectura, etc.)*

[2] **NORMA ISO 286-2:2010**, *en la que se establecen las tablas de las clases de tolerancia normalizadas y de las desviaciones límite para agujeros y ejes.*

[3] **NORMA EN ISO 1302 2002**, *en la que se establece la indicación de la calidad superficial en la documentación técnica de productos.*

[4] **NORMAS DIN e ISO** en relación con los elementos normalizados empleados para la realización del proyecto.

La normativa que deberá cumplir el utillaje diseñado como elemento principal dentro del proceso de fabricación de corte por troquelado y en relación a la normativa de máquinas, queda regulada por la legislación y normativa vigente:

[5] **R.D. 1215/1997**, de **18 de julio**, *por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo.*

[6] **Directiva 89/392/CEE**, *en la que se establece una aproximación de las legislaciones de los Estados Miembros sobre máquinas.*

[7] **NORMA UNE-EN 692:2006+A1:2009**. Máquinas-herramienta. Prensas mecánicas. Seguridad.



14. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Proyectos Fin de Carrera y Trabajos Fin de Grado

[1] Marcos Ferreiro López (2011). *Diseño de una matriz progresiva para chapa*. Proyecto final de carrera. Universidad Politécnica de Catalunya (UPC).

[2] Barbarin Matute I. (2014). *Diseño de troqueles para la fabricación de la pieza soporte pulsador*. Universidad Pública de Navarra Escuela técnica superior de ingenieros industriales y de telecomunicación.

[3] Luis Silverio Álvarez Bermúdez (2009). *Metodología para el diseño de troqueles de corte de chapa metálica*. Trabajo final de carrera. Universidad Autónoma de Occidente. Facultad de ingeniería. Departamento de energética y mecánica.

[4] Javier Múgica Soto (2014). *Diseño de un troquel progresivo*. Proyecto fin de carrera. Universidad de Cantabria. Escuela técnica superior de ingenieros industriales y telecomunicación.

[5] Adrián Paniagua Arribas (2011). *Diseño y definición del proceso de fabricación de un utillaje progresivo de conformado de chapa*. Proyecto Fin de Carrera. Escuela Politécnica Superior de la Universidad Carlos III de Madrid.

Libros y artículos en formato digital

[6] Centro tecnológico ASCAMM. *Defectos en piezas matricizadas*.

[7] Centro tecnológico ASCAMM. *Descripción y análisis de matrices*.

[8] Centro tecnológico ASCAMM. *Introducción a la tecnología de matrices*.

[9] Centro tecnológico ASCAMM. *Mantenimiento de matrices*.

[10] Centro tecnológico ASCAMM. *Matrices progresivas*.

[11] Centro tecnológico ASCAMM. *La Prensa*.

[12] Antonio Florit. (2008). *Tratado de matricería*. ISBN: 978-84-612-688-7

[13] Manuel Antonio Martínez Baena y José M^a Palacios (Junio 2006). *Tratamientos térmicos. Aceros aleados de herramientas para trabajos en frío*.

[14] Instituto de seguridad y salud laboral. Ficha divulgativa FD.120. *Seguridad en prensas mecánicas para metales en frío*.

[15] Sanchez Cruz, Tavo. (7 de diciembre de 2013). Scribd. *Técnicas de corte y punzonado*. Recuperado de <https://es.scribd.com/doc/190117648/16/FUERZA-DE-EXPULSION>.



[16] Ana Isabel Escribano y Rocío Abascal Herranz. (abril de 2014). Blogspot. *Corte y punzonado*. Recuperado de <http://de-duce-tu.blogspot.com.es/p/4corte-y-punzonado.html>

[17] Virginia Badiola. (2004). *Diseño, cálculo y ensayo de máquinas* Departamento de ingeniería mecánica, energética y de materiales. Universidad Pública de Navarra.

Sitios web de proveedores y empresas

www.ascamm.com

www.fibro.com

www.inmacisa.es

www.thyssenkrupp.cl

www.hispanox.com

Otros sitios web

www.matweb.com

www.aenor.es

www.ingemecánica.com

www.metalmecanica.com

www.artnaid.com

www.mehezes.es

www.segurallunel.es

En Pamplona, a 20 de junio de 2016.

Fdo: Alvaro Olcoz Alonso, estudiante de Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales.



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN

TRABAJO FIN DE GRADO

Titulación:

GRADO EN INGENIERÍA EN TÉCNOLOGÍAS INDUSTRIALES
(MENCIÓN MECÁNICA)

Título del proyecto:

“DISEÑO DE UN TROQUEL PROGRESIVO PARA LA
FABRICACIÓN DE DISCOS DE FRENO DE BICICLETA”

DOCUMENTO 2: CÁLCULOS

Alvaro Olcoz Alonso

Tutora: Sara Marcelino Sadaba

Pamplona, Junio 2016



ÍNDICE DE CONTENIDO

1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS DEL CORTE DE CHAPA.....	4
1.1. DESCRIPCIÓN DE UN PROCESO DE CORTE	4
1.2. FENOMENOS QUE SE MANIFIESTAN DURANTE EL CORTE.....	5
1.3. DIMENSIONES LÍMITE EN PIEZAS TROQUELADAS	6
2. FUERZAS PRODUCIDAS EN EL CORTE DE LA CHAPA.....	7
2.1. FUERZA DE CORTE	7
2.2. FUERZA DE EXTRACCIÓN.....	9
2.3. FUERZA DE EXPULSIÓN	10
3. LONGITUD MÁXIMA DE LOS PUNZONES. FENÓMENO DE PANDEO... 	12
4. TOLERANCIA DE CORTE ENTRE PUNZÓN Y MATRIZ.....	14
5. ELECCIÓN DE LOS MUELLES	17
6. FUERZA DE LA PRENSA Y POSICIÓN DEL VÁSTAGO	20
6.1. FUERZA DE LA PRENSA.....	20
6.2. POSICIÓN DEL VÁSTAGO.....	20
7. CÁLCULOS RESISTENTES. MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS	22
7.1. INTRODUCCIÓN AL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS.....	22
7.2. CÁLCULOS TENSIONALES PREVIOS	22
7.3. ANALISIS ESTÁTICOS	23
7.3.1. Punzón tipo A (Diseño previo).....	23
7.3.2. Punzón tipo A (Diseño final)	28
7.3.3. Punzón tipo D.....	34
7.4. CÁLCULO DE RESISTENCIA A LA FATIGA PARA PUNZÓN A.....	39



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Descripción secuencial de un proceso de corte con pisado de chapa.....	4
Figura 2.2. Fenómenos que se manifiestan en la chapa durante el corte	5
Figura 2.3. Representación de la fuerza de corte	7
Figura 2.4. Representación de la fuerza de extracción	9
Figura 2.5. Representación de la fuerza de expulsión	10
Figura 2.6. Descripción gráfica del fenómeno de pandeo	12
Figura 2.7. Juego entre punzón y matriz. Vista en sección.....	14
Figura 2.8. Defectos en las piezas debidos a tolerancias excesivas o insuficientes.....	14
Figura 2.9. Vista ampliada del corte con tolerancia adecuada.....	15
Figura 2.10. Juego aplicado a la placa matriz.....	16
Figura 2.11. Juego restado al punzón.	16
Figura 2.12. Disposición de los muelles y topes guía.....	17
Figura 2.13. Vista frontal del utillaje, con subconjunto central invisible (S/E).....	18
Figura 2.14. Vista frontal del utillaje, con subconjunto central visible (S/E).....	18
Figura 2.15. Esquema para determinación del centro de fuerzas (S/E)	21
Figura 2.16. Modelo previo de punzón A importado en MarcMentat.....	23
Figura 2.17. Detalle del mallado del punzón A (Diseño previo)	24
Figura 2. 18. Definición de las propiedades del material	25
Figura 2.19. Condiciones de contorno de Punzón A (previo).....	25
Figura 2.20. Tensión Von Misses Equivalente para punzón A (previo).....	26
Figura 2.21. Desplazamiento axial para punzón A (previo)	26
Figura 2.22. Desplazamiento radial para punzón A (previo).....	27
Figura 2.23. Deformación total equivalente para punzón A (previo).....	27
Figura 2.24. Modelo final de punzón A importado en MarcMentat.....	28
Figura 2.25. Detalle del mallado del punzón A (Diseño final).....	29
Figura 2.26. Condiciones de contorno de punzón A (final).....	30
Figura 2.27. Tensión Von Misses Equivalente para punzón A (final).....	31
Figura 2.28. Desplazamiento axial para punzón A (final)	32
Figura 2.29. Desplazamiento radial para punzón A (final).....	32
Figura 2.30. Deformación total equivalente para punzón A (final).....	33



Figura 2.31. Modelo de punzón D importado en MarcMentat	34
Figura 2.32. Detalle del mallado del punzón D	34
Figura 2.33. Condiciones de contorno de punzón D.....	35
Figura 2.34. Tensión equivalente Von Misses para punzón D	36
Figura 2.35. Desplazamiento axial para punzón D	37
Figura 2.36. Desplazamiento en eje X para punzón D	37
Figura 2.37. Desplazamiento en eje Z para punzón D.....	38
Figura 2.38. Deformación total equivalente para punzón D.....	38
Figura 2.39. Variación de propiedades con la temperatura	41
Figura 2.40. Curva S-N para acero sometido a esfuerzo axial alterno	42

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Resistencia a la rotura y al corte para varios materiales	7
Tabla 2.2. Fuerzas generadas durante el corte de chapa	11
Tabla 2.3. Longitud máxima admisible para cada punzón.....	13
Tabla 2.4. Factor de tolerancia en función de la resistencia al corte	15
Tabla 2.5. Tensiones nominales máximas para cada punzón	23
Tabla 2.6. Propiedades del acero F-5220 templado y revenido.	24
Tabla 2.7. Exponentes a y b en función del acabado superficial	40

1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS DEL CORTE DE CHAPA

En el presente apartado no se realizarán cálculos técnicos, pero se considera conveniente la realización de una **breve descripción teórica** de las secuencias que sigue un proceso de corte con pisado de chapa. De esta manera se garantiza la comprensión de los cálculos posteriores de fuerzas producidas en el corte de chapa.

En este apartado también se expondrán los fenómenos que se manifiestan en el material cortado durante el proceso y se calculará el mínimo diámetro que podría llegar a cortarse mediante el punzonado.

1.1. DESCRIPCIÓN DE UN PROCESO DE CORTE

El proceso de corte consiste en la **separación**, aplicando un **esfuerzo** a través del punzón y empleando una matriz, de una región de material colocado entre ambos sólidos. La separación se da a lo largo de la línea definida por el perímetro del punzón y de la matriz.

El proceso de corte mediante troquel y pisado de chapa puede dividirse en **6 secuencias** diferenciadas:

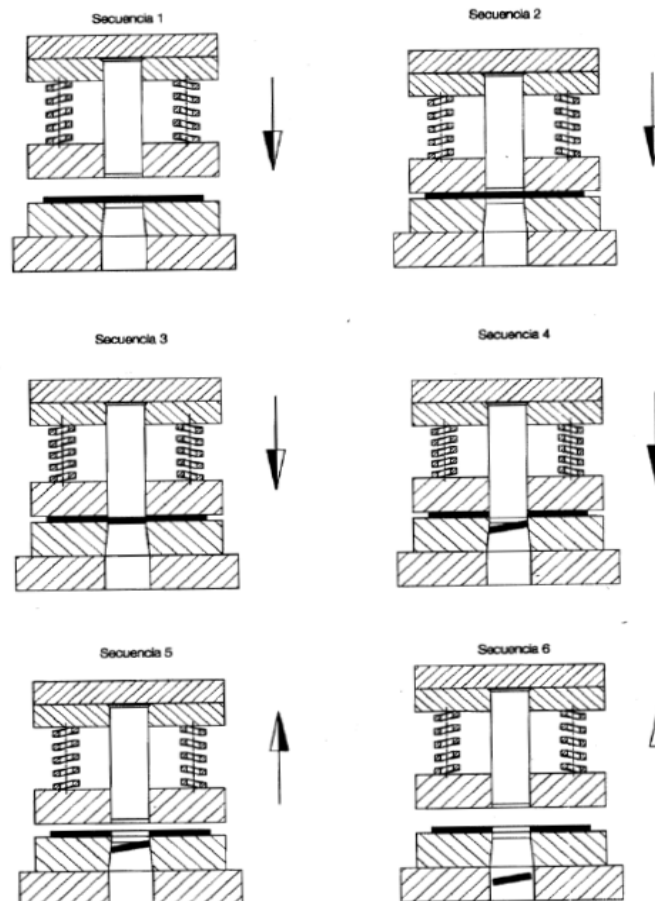


Figura 2.1. Descripción secuencial de un proceso de corte con pisado de chapa

Fuente: Introducción a la tecnología de las matrices (ASCAMM)

- **Secuencia 1:** El vástago de sujeción se une al cabezal de la prensa, que se encuentra en el punto muerto superior. La chapa que se desea cortar descansa sobre la cara superior de la matriz.
- **Secuencia 2:** Se acciona la prensa y esta imprime un movimiento rectilíneo a la parte móvil del troquel. La placa pisadora desciende hasta que hace contacto con la banda de chapa, quedando esta última sujeta.
- **Secuencia 3:** El subconjunto superior continúa el descenso de manera rectilínea, los punzones hacen contacto con la chapa y le aplican un esfuerzo capaz de seccionar las fibras del material.
- **Secuencia 4:** Los punzones descienden una distancia a través de la matriz de aproximadamente su vida y se alcanza el **punto muerto inferior**. En este momento los muelles ejercen la máxima fuerza, pues su compresión en el punto muerto inferior es máxima. El recorte de chapa desciende por la matriz y cae a través de la placa base inferior.
- **Secuencia 5:** Los muelles realizan la fuerza necesaria para extraer los punzones de la matriz, venciendo la fuerza de extracción. El cabezal de la prensa comienza a ascender hacia el punto muerto superior.
- **Secuencia 6:** La prensa llega a su **punto muerto superior** y está lista para realizar un nuevo ciclo.

1.2. FENÓMENOS QUE SE MANIFIESTAN DURANTE EL CORTE

Durante el proceso descrito en el apartado anterior la chapa se mantiene fijada entre dos sólidos: la placa matriz y la placa pisadora. La chapa experimenta **cambios físicos** a nivel de micro estructura conforme avanza el proceso. Se distinguen **4 secuencias** o estados diferentes:

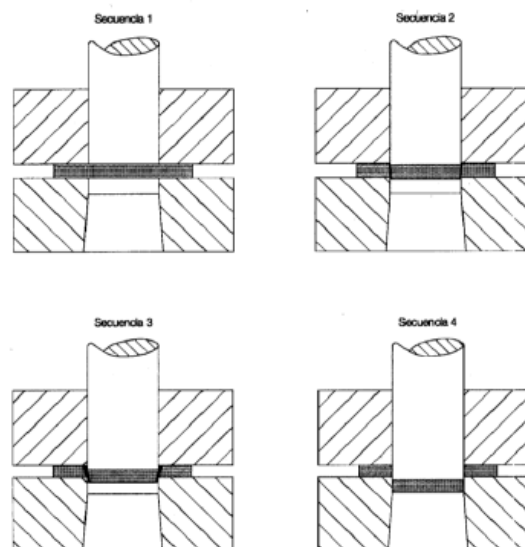


Figura 2.2. Fenómenos que se manifiestan en la chapa durante el corte

Fuente: Introducción a la tecnología de las matrices (ASCAMM)



- **Secuencia 1:** El punzón hace contacto con la chapa y crea un esfuerzo en dirección perpendicular al sentido de las fibras del material.
- **Secuencia 2:** El punzón continúa ejerciendo una presión y el material contenido entre el filo del punzón y la cara de la matriz se compacta y comienza a **deformarse** plásticamente. Debido a la deformación plástica se produce un **endurecimiento** del material en esta zona.
- **Secuencia 3:** Las fibras continúan siendo comprimidas y cuando el punzón penetra en la chapa una distancia de alrededor de un tercio del espesor, se produce **la ruptura de las fibras**. Aun así, la chapa sigue formando un único bloque.
- **Secuencia 4:** El punzón continúa ejerciendo el esfuerzo y atraviesa la chapa en todo su espesor. La porción de material comprimida entre la cara de la matriz y el filo del punzón es separada completamente.

1.3.DIMENSIONES LÍMITE EN PIEZAS TROQUELADAS

El diámetro máximo que puede troquelarse en una chapa viene limitado únicamente por la fuerza que es capaz de ejercer la prensa y por las dimensiones de la matriz. En cambio, el valor mínimo de diámetro que puede cortarse depende del material que se desea cortar y de su espesor.

Para el caso de los aceros el valor de D_{\min} viene dado por la siguiente expresión:

$$D_{\min} = 0,8 \cdot e$$

Donde:

e = espesor de la chapa a cortar

Sustituyendo en la expresión anterior el valor del espesor de chapa ($e = 1,2$ mm) se obtiene un valor de **$D_{\min} = 0,96$ mm**.

El mínimo diámetro de corte para este proyecto es de 6 mm $> D_{\min}$, por lo que se podrá realizar sin problema alguno.

2. FUERZAS PRODUCIDAS EN EL CORTE DE LA CHAPA

2.1. FUERZA DE CORTE

La fuerza de corte es la necesaria para cizallar el material, es decir, para separar una porción de material de la chapa. Esta fuerza depende en gran medida de la resistencia a cortante de la chapa a cortar.

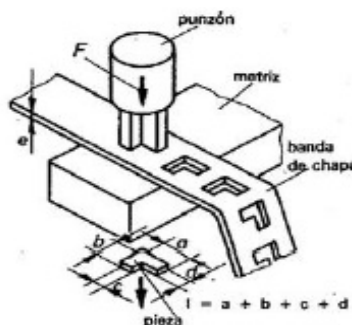


Figura 2.3. Representación de la fuerza de corte

Fuente: Introducción a la tecnología de las matrices (ASCAMM)

La fuerza de corte total se calcula sumando la fuerza de corte para cada punzón. Para ello se emplea la siguiente expresión:

$$F_c = \sigma_c \cdot P \cdot e$$

donde σ_c es la resistencia al corte o a la cizalladura del material a punzonar, P el perímetro del punzón y e el espesor de la chapa.

El espesor de la chapa es de 1,2 mm y la resistencia a la cizalladura del acero inoxidable es de $\sigma_c=588 \text{ N/mm}^2$ en crudo.

Material	Resistencia a la rotura por tensión (N/mm ²)		Resistencia al corte (N/mm ²)	
	Recocido	Crudo	Recocido	Crudo
Acero lamin. con 0.1% de C	303.8	392	245	313.6
Acero lamin. con 0.2% de C	392	490	313.6	392
Acero lamin. con 0.3% de C	431.2	588	343	470.4
Acero lamin. con 0.4% de C	548.8	686	441	548.8
Acero lamin. con 0.6% de C	686	882	548.8	705.6
Acero lamin. con 0.8% de C	882	1078	705.6	882
Acero lamin. con 1.0% de C	980	1274	784	1029
Acero lamin. acero inoxidable	637	735	509.6	588
Acero lamin. al silicio	548.8	686	441	548.8
Aluminio	73.5-88.2	156.8-176.4	58.8-68.8	127.4-147
Anticorrosal	107.8-127.4	313.6-352.8	88.2-98	245-284.2
Avional (duraluminio)	156.8-196	372.4-441	127.4-156.8	294-352.8
Aluminio lam.en aleac.(siluminio)	117.6-147	245	98-117.6	196
Alpaca laminada	343-441	548.8-568.4	274.4-352.8	441-450.8
Bronce	392-490	490-735	313.6-392	392-588
Cinc	147	245	117.6	196
Cobre	215.6-264.7	303.8-362.6	176.4-215.6	245-294
Estaño	39.2-50	-	29.4-39.2	-
Fibra	-	-	166.6	-
Latón	274.4-362	431.2-490	215.6-294	343-392
Oro	-	-	176.4	294
Plata laminada	284.2	284.2	230.3	230.3
Plomo	24.5-39.2	-	19.6-29.4	-

Tabla 2.1. Resistencia a la rotura y al corte para varios materiales



Para realizar la operación de troquelado se emplean 5 tipos de punzones que se designarán como A, B, C, D y E:

- Punzones tipo A:

- Son punzones de sección circular y diámetro de 6 mm.
- Su perímetro viene dado por $P_A = \pi \cdot D = 18,85$ mm.
- El número de punzones de tipo A es de $n_A = 12$.
- El valor de la fuerza de corte para cada punzón de tipo A es de:

$$F_{CA} = \sigma_c \cdot P_A \cdot e = 588 \cdot 18,85 \cdot 1,2 = 13300 \text{ N} = \mathbf{13,3 \text{ kN}}$$

- Punzones tipo B:

- Son punzones con la sección que puede observarse en la figura:



- Su perímetro se ha calculado con el software Solid Works: $P_B = 97,55$ mm.
- El número de punzones de tipo B es de $n_B = 4$.
- El valor de la fuerza de corte para cada punzón de tipo B es de:

$$F_{CB} = \sigma_c \cdot P_B \cdot e = 588 \cdot 97,55 \cdot 1,2 = 68832 \text{ N} = \mathbf{68,832 \text{ kN}}$$

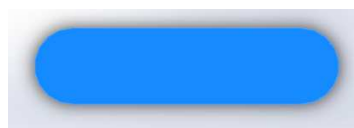
- Punzón tipo C:

- Es un punzón de sección circular y diámetro de 30 mm. En el agujero que crea este punzón se aloja el eje de la bicicleta.
- Su perímetro viene dado por $P_C = \pi \cdot D = 94,24$ mm.
- Es un único punzón, $n_C = 1$.
- El valor de la fuerza de corte para el punzón tipo C es:

$$F_{CC} = \sigma_c \cdot P_C \cdot e = 588 \cdot 94,24 \cdot 1,2 = 66495,7 \text{ N} = \mathbf{66,495 \text{ kN}}$$

- Punzones tipo D:

- Son punzones con la sección que puede observarse en la figura:



- Se trata de una ranura con una distancia de 17 mm entre centros y $r = 3$ mm, por lo tanto, $P_D = 2\pi R + 2 \cdot L = 52,85$ mm.

- El número de punzones de tipo D es de $n_D=4$.
- El valor de la fuerza de corte para cada punzón de tipo D es de:

$$F_{CD}=\sigma_c \cdot P_D \cdot e=588 \cdot 52,85 \cdot 1,2= 37291 \text{ N} = \mathbf{37,291 \text{ kN}}$$

- Punzón tipo E:

- Es un punzón de sección circular y diámetro de 150 mm. Su función es recortar el exterior de la pieza.
- Su perímetro viene dado por $P_E=\pi \cdot D=471,24 \text{ mm}$.
- Es un único punzón, $n_E=1$.
- El valor de la fuerza de corte para el punzón tipo E es:

$$F_{CE}=\sigma_c \cdot P_E \cdot e=588 \cdot 471,24 \cdot 1,2=332506,94 \text{ N} = \mathbf{332,506 \text{ kN}}$$

La fuerza global de corte se calcula como:

$$F_{CT}=n_A \cdot F_{CA}+n_B \cdot F_{CB}+n_C \cdot F_{CC}+n_D \cdot F_{CD}+ n_E \cdot F_{CE} = \mathbf{983,1 \text{ kN}}$$

Este resultado obtenido representa la **fuerza de corte total**, que es la que debería usarse para calcular la fuerza ejercida por la prensa en el caso de que todos los punzones fuesen de la misma longitud. Tal y como se explicará en el siguiente capítulo, se ha optado por diseñar los punzones de dos longitudes diferentes de que la fuerza de corte se realice de manera escalonada y la prensa necesite menos potencia.

2.2.FUERZA DE EXTRACCIÓN

La fuerza de extracción es la fuerza que hay que realizar para separar la chapa de los punzones una vez se ha efectuado el corte. Se considera como aproximadamente un 10% la fuerza de corte. La fuerza de extracción total es la suma de la fuerza de extracción para cada punzón.

$$F_{ext} = 0,1 \cdot F_C$$

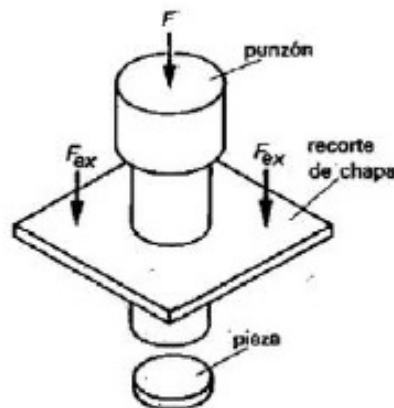


Figura 2.4. Representación de la fuerza de extracción

Fuente: Introducción a la tecnología de las matrices (ASCAMM)

- Para los **punzones tipo A** se tiene:

$$F_{\text{extA}} = 0,1 \cdot F_{\text{CA}} = 1,33 \text{ kN}$$

$$n_A \cdot F_{\text{extA}} = 12 \cdot 1,33 = 15,96 \text{ kN}$$

- Para los **punzones tipo B** se tiene:

$$F_{\text{extB}} = 0,1 \cdot F_{\text{CB}} = 6,883 \text{ kN}$$

$$n_B \cdot F_{\text{extB}} = 4 \cdot 6,883 = 27,53 \text{ kN}$$

- Para el **punzón tipo C** se tiene:

$$F_{\text{extC}} = 0,1 \cdot F_{\text{CC}} = 6,65 \text{ kN}$$

$$n_C \cdot F_{\text{extC}} = 6,65 \text{ kN}$$

- Para el **punzón tipo D** se tiene:

$$F_{\text{extD}} = 0,1 \cdot F_{\text{CD}} = 3,73 \text{ kN}$$

$$n_D \cdot F_{\text{extD}} = 14,92 \text{ kN}$$

- Para el **punzón tipo E** se tiene:

$$F_{\text{extE}} = 0,1 \cdot F_{\text{CD}} = 33,25 \text{ kN}$$

$$n_D \cdot F_{\text{extE}} = 33,25 \text{ kN}$$

La fuerza de extracción total es de:

$$F_{\text{extT}} = 15,96 + 27,53 + 6,65 + 14,92 + 33,25 = \mathbf{98,31 \text{ kN}} = 0,1 \cdot F_{\text{CT}}$$

2.3. FUERZA DE EXPULSIÓN

La fuerza de expulsión es fuerza la necesaria para extraer la pieza de la matriz. Su valor es aproximadamente el 1,5 % del valor de la fuerza de corte:

$$F_{\text{exp}} = 0,015 \cdot F_C$$

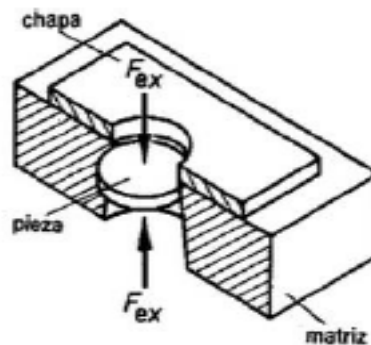


Figura 2.5. Representación de la fuerza de expulsión

Fuente: Introducción a la tecnología de las matrices (ASCAMM)



- Para los **punzones tipo A** se tiene:

$$F_{\text{expA}} = 0,015 \cdot F_{\text{CA}} = 0,2 \text{ kN}$$

$$n_A \cdot F_{\text{expA}} = 12 \cdot 0,2 = 2,4 \text{ kN}$$

- Para los **punzones tipo B** se tiene:

$$F_{\text{expB}} = 0,015 \cdot F_{\text{CB}} = 1,03 \text{ kN}$$

$$n_B \cdot F_{\text{expB}} = 4 \cdot 1,03 = 4,12 \text{ kN}$$

- Para el **punzón tipo C** se tiene:

$$F_{\text{expC}} = 0,015 \cdot F_{\text{CC}} = 1 \text{ kN}$$

$$n_C \cdot F_{\text{expC}} = 1 \text{ kN.}$$

- Para el **punzón tipo D** se tiene:

$$F_{\text{expD}} = 0,015 \cdot F_{\text{CD}} = 0,56 \text{ kN.}$$

$$n_D \cdot F_{\text{expD}} = 2,28 \text{ kN.}$$

- Para el **punzón tipo E** se tiene:

$$F_{\text{expE}} = 0,015 \cdot F_{\text{CE}} = 4,99 \text{ kN}$$

$$n_E \cdot F_{\text{expE}} = 4,99 \text{ kN}$$

La fuerza de expulsión total es de:

$$F_{\text{expT}} = 2,4 + 4,12 + 1 + 2,28 + 4,99 = \mathbf{14,746 \text{ kN}} = 0,015 \cdot F_{\text{CT}}$$

En la siguiente tabla se muestra un resumen de los valores de las fuerzas generadas en el proceso de corte de la chapa:

PUNZONES	Tipo A	Tipo B	Tipo C	Tipo D	Tipo E	TOTAL
Fuerza de corte (kN)	159,60	275,32	66,50	149,16	332,51	983,1
Fuerza de extracción (kN)	15,96	27,53	6,65	14,92	33,25	98,31
Fuerza de expulsión (kN)	2,39	4,13	1,00	2,24	4,99	14,746

Tabla 2.2. *Fuerzas generadas durante el corte de chapa*

3. LONGITUD MÁXIMA DE LOS PUNZONES. FENÓMENO DE PANDEO.

Cuando un cuerpo se somete a una compresión puede llegar a producirse el fenómeno de pandeo, que consiste en un desplazamiento de una parte del sólido en dirección perpendicular al esfuerzo.

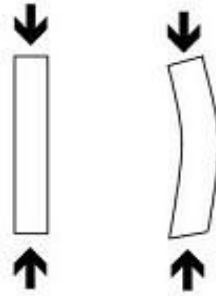


Figura 2.6. Descripción gráfica del fenómeno de pandeo

En el diseño de un troquel hay que tener en cuenta que los punzones podrían llegar a sufrir este fenómeno por el hecho de que trabajan a compresión, y es por esto que se calcula un límite de longitud, $L_{m\acute{a}x}$, a partir del cual el punzón comienza a pandear.

En los cálculos siguientes se aplican ecuaciones de la estática, y el proceso de troquelado es un proceso dinámico. Esta suposición nos obliga a posteriormente aplicar un coeficiente de seguridad, dicho de otra manera, nos imposibilita hacer un dimensionado cerca del valor límite calculado.

Para obtener una expresión para $L_{m\acute{a}x}$ se aplica la ecuación 6.18 del *Documento Básico SE-A del Acero* perteneciente al Código Técnico de la Edificación:

$$N_{cr} = \left(\frac{\pi}{L_k} \right)^2 \cdot E \cdot I$$

Despejando la ecuación y sustituyendo el axil por la fuerza de corte se obtiene:

$$L_{m\acute{a}x} = \sqrt{\pi^2 \cdot E \cdot I / F_c}$$

Donde:

E = módulo elástico para aceros= 210000 MPa

I = momento de inercia mínimo de la sección (mm^4)

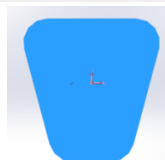
F_c = fuerza de corte para cada punzón (N)

Para secciones circulares el momento de inercia puede calcularse como:

$$I_x = I_y = \frac{\pi \cdot d^4}{64}$$

Para calcular los momentos de inercia del **punzón tipo B**, cuya geometría no es básica, se ha utilizado la opción de *Propiedades de sección* del software Solid Works:

Momentos principales de inercia, del área, en el centro de gravedad: (milímetros ^ 4)
 $I_x = 33066.63$
 $I_y = 47111.83$



De los dos valores obtenidos debe emplearse el mínimo, porque el mínimo valor de N_{cr} se da para el mínimo valor de momento de inercia y N_{cr} representa el valor del axil a partir del cual el punzón empieza a pandear.

Para el **punzón tipo D** se procede de la misma manera obteniendo:

Momentos principales de inercia, del área, en el centro de gravedad: (milímetros ^ 4)
 $I_x = 387.62$
 $I_y = 5917.84$



PUNZÓN	A	B	C	D	E
$I_{\min} (\text{mm}^4)$	63,617	33066,63	39760,78	367,82	24850488,8
$F_c (\text{N})$	13300	70248	66495	37291	332506
$L_{\max} (\text{mm})$	99,56	987,72	1113,25	142,98	12445,92

Tabla 2.3. Longitud máxima admisible para cada punzón

Tal y como era de suponer el caso más desfavorable es el de los punzones de menor sección, los de diámetro de 6 mm. La longitud máxima que podrían tener estos punzones es de 99,56 mm. La longitud elegida para estos punzones es de **75 mm**.

Los punzones han sido diseñados con distintas longitudes para que toda la fuerza de corte no se realice de forma simultánea y se divida en 2 etapas. Las longitudes elegidas para cada punzón son las siguientes:

PUNZÓN	A	B	C	D	E
Longitud (mm)	75	72	72	72	75

Se ha decidido dimensionar los punzones A y el punzón E con la misma longitud para que el reparto de las fuerzas sea lo más equilibrado posible. La diferencia de longitudes debe ser superior al espesor de chapa, que es de 1,2 mm, para que cuando los punzones más cortos incidan sobre la chapa los más largos ya hayan realizado el corte. Se ha empleado una **diferencia de 3 mm** entre longitudes de punzones.

4. TOLERANCIA DE CORTE ENTRE PUNZÓN Y MATRIZ

Entre la superficie exterior del punzón y el agujero de la matriz debe existir un **juego** para el correcto funcionamiento y mantenimiento del troquel. El objetivo de utilizar esta tolerancia es el de **aliviar y facilitar la expansión del material** debido a la presión ejercida.

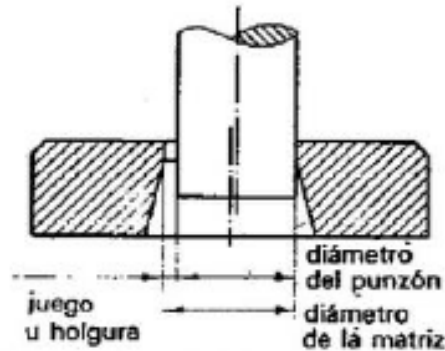


Figura 2.7. Juego entre punzón y matriz. Vista en sección

Fuente: Introducción a la tecnología de las matrices (ASCAMM)

El hecho de aplicar un **valor óptimo de juego** entre matriz y punzón no solo da lugar a una producción de mayor calidad, sino que también contribuye al menor desgaste de las herramientas de corte, por lo que se reducen los costes derivados del mantenimiento del troquel. Si el juego aplicado es excesivo o insuficiente pueden producirse **defectos** en las piezas troqueladas.

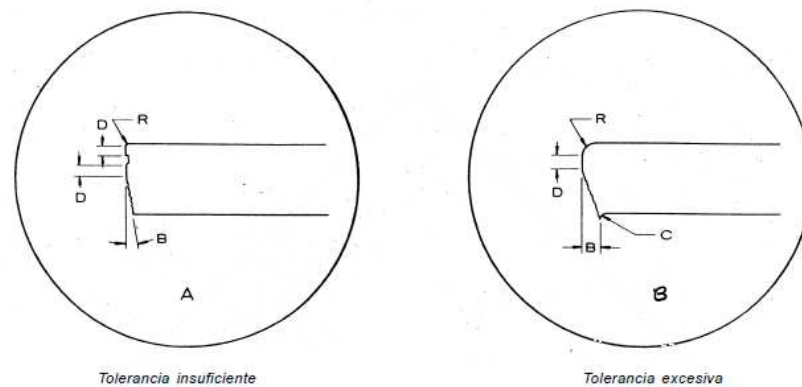


Figura 2.8. Defectos en las piezas debidos a tolerancias excesivas o insuficientes

Fuente: Defectos en piezas matrizadas (ASCAMM)

Si la tolerancia de corte es **insuficiente** se impide la expansión del material entre el punzón y la matriz, por lo que las piezas suelen presentar una excesiva laminación de la pared de corte. Además, por la falta de fluencia de la chapa aumenta la presión sobre los elementos de corte y se generan **fuerzas en sentido radial** perjudiciales para los punzones. En la figura A se pueden observar los aspectos geométricos de una pieza cortada con tolerancia insuficiente: la pieza posee 2 partes rectas D.

Si la tolerancia de corte es **excesiva** la fluencia de la chapa entre punzón y matriz es demasiado grande, y la compactación de las fibras para producir su rotura es insuficiente. Observando la figura B, el radio R es considerablemente mayor, la parte recta D es más estrecha, el ángulo B es mayor y aparece una **rebaba** en C.

El empleo del **valor correcto** de tolerancia de corte permite conseguir piezas de perfil perfectamente definido y **sin rebabas**. La **presión** del material que se produce sobre las paredes de corte es **la adecuada**, sin sobreesfuerzos por excesiva laminación en la pared de corte.

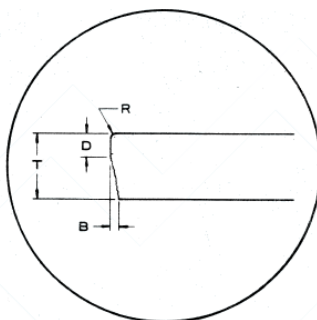


Figura 2.9. Vista ampliada del corte con tolerancia adecuada

Fuente: Defectos en piezas matrizadas (ASCAMM).

En la figura se observa como la franja lisa D es recta y pulida. Su altura es aproximadamente $1/3 \cdot e$ cuando el útil de corte está bien afilado y la tolerancia es correcta. A los $2/3$ restantes de sección se le llama parte arrancada y forma un pequeño ángulo B (entre 1° y 6°) con la pared de corte.

El factor de tolerancia óptimo es función de la resistencia a cortante y del espesor de la chapa. A cada valor de resistencia al corte se le atribuye un juego que es función del espesor según la siguiente tabla:

Resistencia al corte (Kg/mm ²)	Factor de tolerancia
<10	0,01·e
11-25	0,03·e
26-39	0,05·e
40-59	0,07·e
60-99	0,09·e
>100	0,10·e

Tabla 2.4. Factor de tolerancia en función de la resistencia al corte

Fuente: FERREIRO LÓPEZ, M. UPC. 2011

Para calcular el factor de tolerancia se ha transformado la resistencia a cortante de nuestro material a las unidades Kg/mm².

$$\sigma_c = 588 \text{ N/mm}^2 = 588/9,8 \text{ Kg/mm}^2 = 60 \text{ Kg/mm}^2.$$

El factor de tolerancia que se ha adoptado es de $0,09 \cdot e = 0,09 \cdot 1,2 = \mathbf{0,108 \text{ mm}}$.

Una vez obtenido el valor de la tolerancia esta se puede aplicar al punzón o a la matriz. Se aplicará una u otra dependiendo de qué se desee obtener:

- Agujero en una chapa: el punzón tiene la medida exacta y a la matriz se le suma el juego calculado.

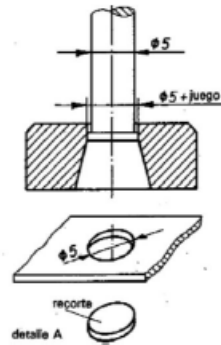


Figura 2.10. Juego aplicado a la placa matriz

Fuente: <http://de-duce-tu.blogspot.com.es/p/4corte-y-punzonado.html>

- Pieza recortada: la matriz tiene la medida exacta y al punzón se le resta el juego.

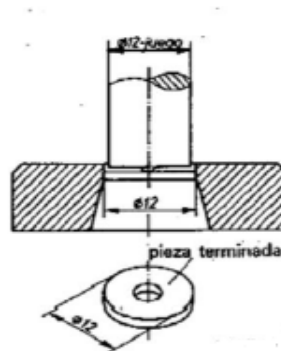


Figura 2.11. Juego restado al punzón.

Fuente: <http://de-duce-tu.blogspot.com.es/p/4corte-y-punzonado.html>

En nuestro caso los punzones A, B, C y D tendrán la dimensión exacta del recorte que se le quiere hacer a la chapa y a los orificios de la placa matriz se les sumará la tolerancia calculada. Al contrario, en el caso del punzón E el orificio de la placa matriz tendrá la dimensión del contorno exterior de la pieza y al punzón se le restará la tolerancia.

5. ELECCIÓN DE LOS MUELLES

Los muelles son elementos de expulsión cuya función es extraer los punzones una vez estos han cortado la chapa. Los muelles pueden colocarse de varias formas diferentes:

- Entre la placa superior y la placa guía punzones, concéntricos a las columnas.
- Entre la placa guía punzones y la placa porta punzones, concéntricos a los topes guía.
- **Entre la placa superior y la placa guía punzones, concéntricos a los topes guía.**

De estas 3 opciones se ha elegido la última, ya que debido a la alta fuerza de expulsión se van a emplear **14 muelles** y no hay suficiente espacio para mecanizar los orificios de los topes guía en la placa porta punzones.

Los muelles se disponen **de forma simétrica** y formando una especie de jaula.

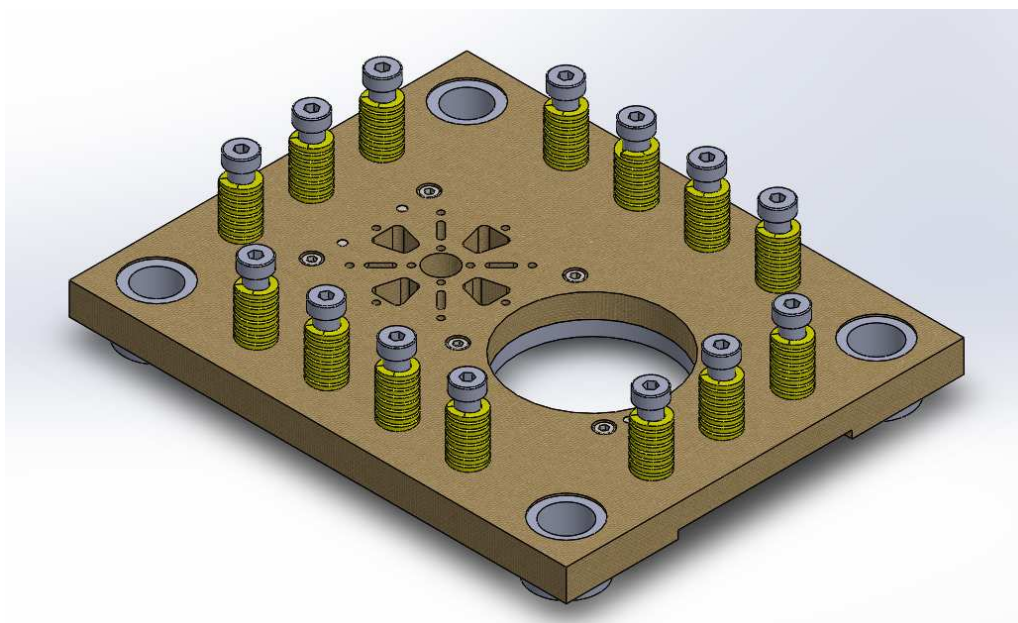


Figura 2.12. *Disposición de los muelles y topes guía*

El esfuerzo que deben soportar los muelles es la fuerza de extracción de los punzones calculada en el apartado 2.2 de este documento: $F_{ext}=98,31 \text{ kN} = 98310 \text{ N}$

Este esfuerzo se tendrá que repartir entre los 14 muelles, por lo tanto, cada muelle tendrá que soportar:

$$F_{muelle} = 98310/14 = 7022,1 \text{ N}$$

Los muelles van alojados entre la placa guía punzones y la placa superior y tienen una longitud en reposo de **50 mm**. Al aplicar un esfuerzo de compresión entre los muelles, los filetes trabajan a torsión y la **fatiga** les afecta significativamente. Para aumentar su vida útil y que adolezcan menos por fatiga los fabricantes recomiendan darles una precarga de entre el 3% y el 5% de su longitud. Se ha optado por dar a los muelles una **precarga de 2,2 mm** (4,5% de L_0 , aproximadamente).

Para calcular la **deflexión** de los muelles se recurre a la vista frontal del utillaje en el **punto muerto superior**, y se deduce de esta la **carrera de la prensa**, el **desplazamiento del subconjunto central** y el **desplazamiento relativo del subconjunto superior respecto del central**.

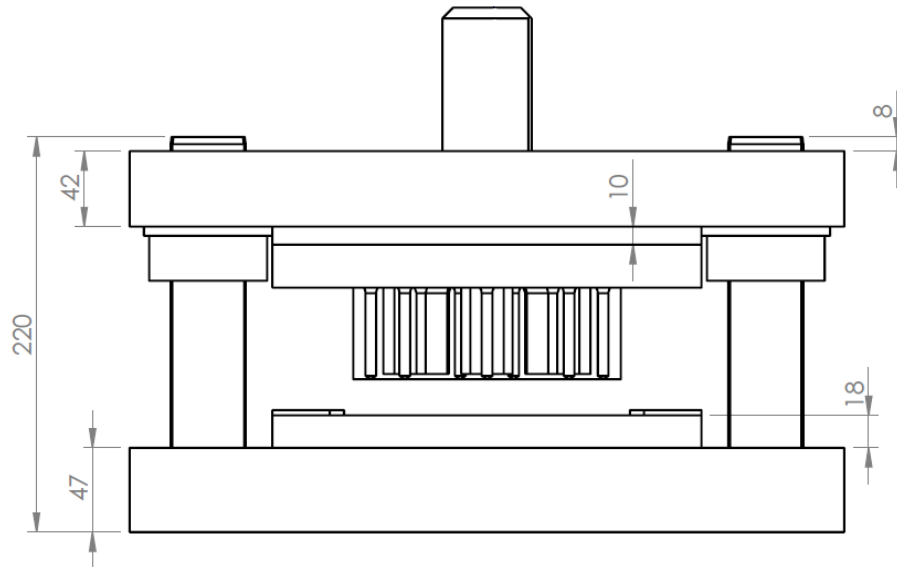


Figura 2.13. Vista frontal del utillaje, con subconjunto central invisible (S/E)

La carrera de la prensa se determina como la distancia entre el punzón más corto y la cara superior de la placa matriz + la vida de la matriz, que tiene un valor de 4 mm. Teniendo en cuenta el esquema anterior se deduce que:

$$\text{Carrera} = (220 - 47 - 18 - 8 - 42 - 10 - 72) + 4 = 23 + 4 = \mathbf{27 \text{ mm}}$$

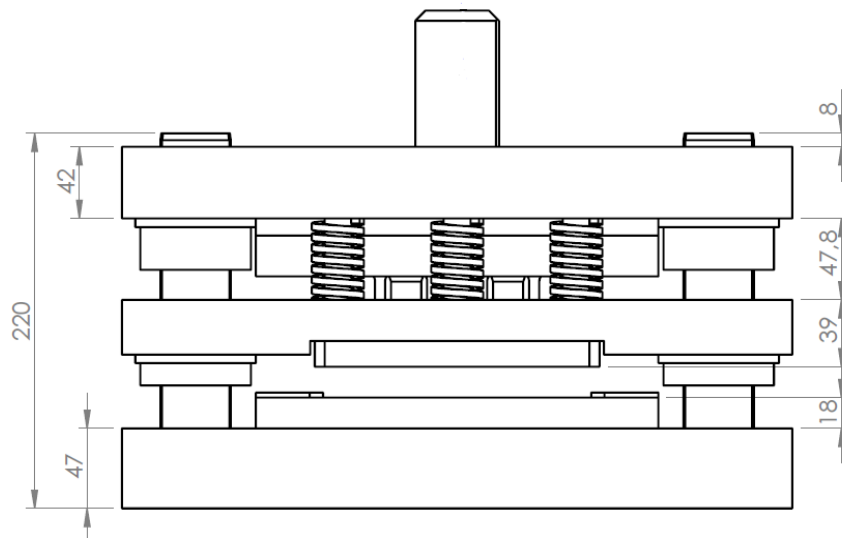


Figura 2.14. Vista frontal del utillaje, con subconjunto central visible (S/E)

El **desplazamiento del subconjunto central** se calcula como:

$$220 - 47 - 18 - 8 - 42 - 47,8 - 39 - e_{\text{chapa}} (1,2 \text{ mm}) = \mathbf{17 \text{ mm}}$$



Durante los primeros 17 mm de recorrido el subconjunto superior y el central bajarán juntos, hasta que la placa pisadora haga contacto con la banda de chapa. En este momento el subconjunto superior continúa bajando hasta completar la carrera, que es de 27 mm.

El **desplazamiento del subconjunto superior respecto del subconjunto central** es la diferencia entre la carrera y el desplazamiento del subconjunto central, $27-17 = 10$ mm.

Una vez calculado este desplazamiento, se deduce la compresión de los muelles, Δx . Este parámetro es la suma entre el desplazamiento relativo de la parte superior del troquel respecto de la central y la precarga que se le ha dado a los muelles en la fase de montaje.

$$\Delta x = 10+2,2 = 12,2 \text{ mm}$$

Para hallar los muelles adecuados hay que encontrar la constante k del muelle necesaria y también hay que asegurarse de que la compresión del muelle no supere la deflexión máxima establecida por el fabricante.

Para encontrar la constante k se emplea la conocida ecuación de los muelles:

$$F_{muelle} = k \cdot \Delta x$$

Donde:

F_{muelle} = fuerza que tiene que soportar cada muelle (N)

k = constante elástica del muelle (N/mm)

Δx = compresión del muelle (mm)

Aplicando la ecuación anterior se obtiene un valor de $k = 7022,1/12,2 = 575,6$ N/mm

Observando la constante elástica requerida y la deformación de los muelles se han elegido **14 muelles de sección rectangular A38x50 mm y carga extrafuerte** (color amarillo) de la empresa **INMACISA**, cuyas características se muestran a continuación:

Ø Orificio	Ø Varilla	Sección hilo	Constante k	Longitud	Deflexión máxima
38 mm	19 mm	7,2x8,6 mm	578 N/mm	50 mm	12,5 mm

Puede encontrarse información más detallada de los muelles elegidos en el documento *Anexo D*.



6. FUERZA DE LA PRENSA Y POSICIÓN DEL VÁSTAGO

6.1. FUERZA DE LA PRENSA

El cálculo de la fuerza que debe ejercer la prensa es fundamental desde el punto de vista energético. También es necesario conocer el valor de esta fuerza para dimensionar el vástago, que es la parte del ensamblaje encargada de transmitir la potencia desde la prensa a la parte móvil del troquel.

La fuerza de la prensa se calcula como la suma entre la fuerza de corte instantánea máxima y la fuerza que ejercen los muelles en el punto muerto inferior (máxima fuerza ejercida por los muelles). Al valor obtenido se le aplica un **coeficiente de seguridad de 1,1**.

Como los punzones se han dimensionado con 2 longitudes diferentes, las fuerzas de corte instantáneas son las siguientes:

$$F_{i1} = n_A \cdot F_{CA} + n_E \cdot F_{CE} = 12 \cdot 13,3 + 1 \cdot 332,5 = 492,1 \text{ kN}$$

$$F_{i2} = n_B \cdot F_{CB} + n_C \cdot F_{CC} + n_D \cdot F_{CD} = 4 \cdot 68,832 + 1 \cdot 66,495 + 4 \cdot 37,291 = 490,987 \text{ kN}$$

$$F_{i\text{máx}} = \mathbf{492,1 \text{ Kn}}$$

Estrictamente hablando la fuerza que los muelles ejercen en el punto muerto inferior es ligeramente superior a la fuerza de expulsión. Se calcula como:

$$F_{\text{muelles}} = n_{\text{muelles}} \cdot k_{\text{muelle}} \cdot \Delta x = 14 \cdot 578 \cdot 12,2 = 98,722 \text{ kN}$$

$$F_{\text{prensa}} = 1,1 \cdot (F_{i\text{máx}} + F_{\text{muelles}}) = 1,1 \cdot (492,1 + 98,722) = \mathbf{649,9 \text{ kN}}$$

En el mundo de la troquelería la fuerza de la prensa suele expresarse en toneladas.

$$F_{\text{prensa}} = \mathbf{66,25 \text{ Tn}}$$

La prensa elegida debe ser capaz de aplicar una fuerza superior a 66,25 Tn.

6.2. POSICIÓN DEL VÁSTAGO

La posición del vástago de sujeción que se rosca en la placa superior del utillaje no es aleatoria. El vástago debe adoptar una posición que coincida con el centro de gravedad del perímetro de corte, para el caso de un único punzón de corte, o bien, el **centro de fuerzas resultante de todas las fuerzas de corte actuantes**, en el caso de que la matriz disponga de varios punzones.

La posición correcta del vástago de sujeción evita excentricidades, empujes laterales y esfuerzos que repercuten directamente sobre los elementos guía o, en el peor de los casos, sobre los elementos cortantes del utillaje. De esta manera se evitan deformaciones y roturas, y tanto la **eficiencia** del troquel como la **vida útil** de todos sus elementos **augmenta**.

Como el vástago ejerce la fuerza sobre la placa superior y esta tiene las mismas dimensiones y está perfectamente alineada con la placa base inferior, para realizar el cálculo del centro de fuerzas se emplea un esquema de la vista en planta de la placa base inferior, y sobre esta se establece un sistema de coordenadas cartesiano.

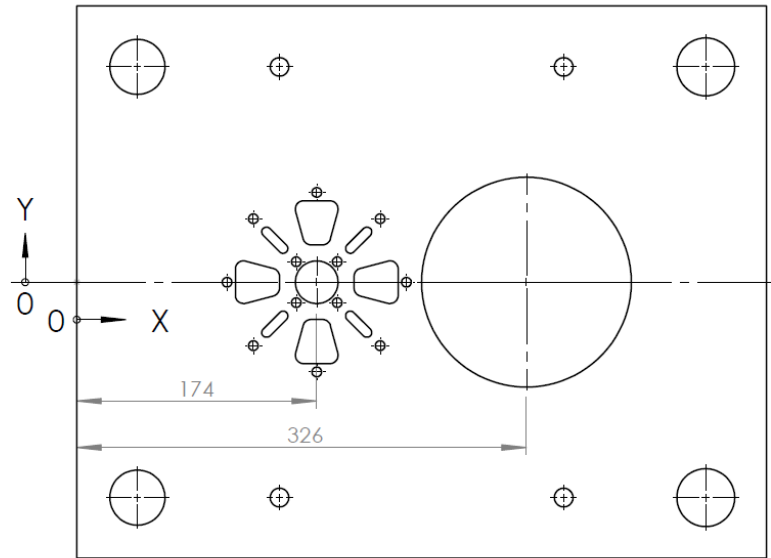


Figura 2.15. Esquema para determinación del centro de fuerzas (S/E)

Se considera que las fuerzas de corte actúan en el centro de gravedad de cada punzón. Debido a la **simetría** de la posición de los punzones **entorno al eje X**, se deduce que el centro de fuerzas estará sobre dicho eje o, lo que es lo mismo, que $Y_{CF}=0$.

Para hallar la posición del centro de fuerzas en el eje X, X_{CF} , se aplica la siguiente ecuación:

$$\sum F_c \cdot cdg_x = F_{CT} \cdot X_{CF}$$

Donde:

F_c = fuerza de corte de cada punzón

cdg_x = posición en el eje x del centro de gravedad de cada punzón

F_{CT} = Fuerza de corte total (983,1 kN)

X_{CF} = posición del centro de fuerzas en el eje X

Debido a la **simetría circular** de los punzones tipo A, B, C y D entorno al punto O, el centro de las fuerzas ejercidas por estos punzones esta sobre el punto O y la ecuación anterior puede transformarse en la siguiente:

$$F_O \cdot 174 + F_P \cdot 326 = F_{CT} \cdot X_{CF} \text{ (mm)}$$

Donde:

$$F_O = n_A \cdot F_{CA} + n_B \cdot F_{CB} + n_C \cdot F_{CC} + n_D \cdot F_{CD} = 650,594 \text{ kN}$$

$$F_P = n_E \cdot F_{CE} = 332,506 \text{ kN}$$

Sustituyendo en la ecuación anterior se obtiene la posición del vástago en el eje X:

$$X_{CF} = \mathbf{225,41 \text{ mm}}$$

7. CÁLCULOS RESISTENTES. MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS

7.1. INTRODUCCIÓN AL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS

El *Método de Elementos Finitos* (MEF) o *Finite Element Method* (FEM) es un método de cálculo numérico que surgió como tal en la década de los 60, ligado al análisis estructural. Sin embargo, el concepto de cálculo a través de sólidos o superficies discretizadas viene de muchos siglos atrás, pues los egipcios lo usaban para calcular pirámides y también Arquímedes para el cálculo de superficies y volúmenes. Su forma más conceptual fue propuesta por Isaac Newton dentro de las bases del cálculo integral y diferencial.

El MEF permite la simulación de procesos, casos de carga, casos térmicos, análisis modales... que son indispensables cuando resulta imposible obtener soluciones analíticas a partir de las expresiones matemáticas que rigen estos casos.

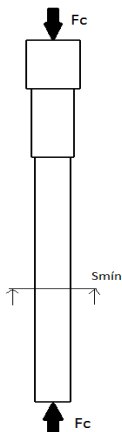
El proceso de cálculo mediante *Elementos Finitos* comienza siempre con la **creación de un modelo**, seguido de un **mallado del modelo** que se adapte bien a sus características. Posteriormente se definen las **propiedades del material** y se aplican las **condiciones de contorno** (boundary conditions). Para terminar, se lanza el **cálculo** y se obtienen los **resultados** a analizar.

En la actualidad el software de *Elementos Finitos* es indispensable para tareas de ingeniería de desarrollo de productos, pues una vez realizado el diseño es necesario realizar una serie de ensayos para comprobar su resistencia o valorar un rediseño. En componentes críticos, el análisis por Elementos Finitos es el paso previo al banco de pruebas.

En este capítulo se van a llevar a cabo una serie de **cálculos resistentes sobre los punzones** de corte, pues son los elementos en los que mayores tensiones se generan. El software empleado es *Marc Mentat 2014*, un software potente y muy empleado por empresas en diversas ramas de la ingeniería.

7.2. CÁLCULOS TENSIONALES PREVIOS

Antes de comenzar a realizar simulaciones por *Elementos Finitos* conviene realizar unos cálculos previos sencillos para detectar los punzones más críticos. Los punzones trabajan a compresión simple y la **tensión nominal máxima** para cada uno se calcula con la siguiente expresión:



$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{F_C}{S_{m\acute{i}n}}$$

Donde:

$\sigma_{m\acute{a}x}$ = Tensión compresiva nominal máxima (MPa).

F_C = Fuerza de corte para cada punzón (N).

$S_{m\acute{i}n}$ = Área transversal mínima del punzón (mm²).

Los resultados obtenidos para cada uno de los 5 punzones se recogen en la siguiente tabla:

PUNZÓN	F_c (N)	$S_{mín}$ (mm ²)	$\sigma_{máx}$ (MPa)
A	13300	28	470,46
B	68832	623	110,48
C	66495	643	103,38
D	37291	130	286,26
E	332506	17377	19,13

Tabla 2.5. Tensiones nominales máximas para cada punzón

El **punzón más crítico es el punzón A**, en el que la tensión nominal máxima es de **470,46 MPa**, seguido por el punzón D con 286,26 MPa. La tensión en los punzones B y C es similar, de aproximadamente 100 MPa.

Los punzones que se van a analizar son los punzones A y D, porque son los que mayor tensión nominal tienen y también poseen reducciones de diámetro que generan concentradores de tensión.

7.3. ANÁLISIS ESTÁTICOS

En este apartado se realizan ensayos estáticos sobre los punzones A, B, C y D, simulando sus condiciones de trabajo y se calculan las tensiones a las que están sometidos, los desplazamientos que aparecen y las deformaciones que sufren y su tipología.

7.3.1. Punzón tipo A (Diseño previo)

- Creación del modelo:

El modelo se crea mediante SolidWorks y se importa en *MarcMentat* como formato Parasolid.

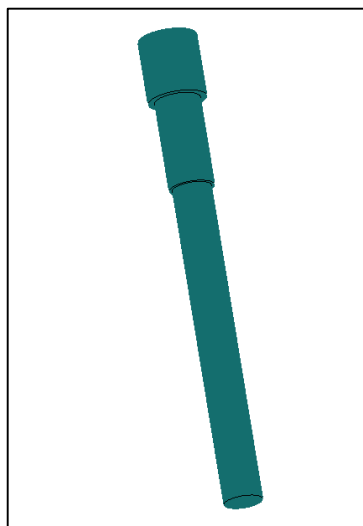


Figura 2.16. Modelo previo de punzón A importado en *MarcMentat*

- Creación de la malla:

Se realiza un **mallado tetraédrico lineal** con un tamaño de elemento de **0,45 mm**.

La malla creada posee **29350 nodos** y **151828 elementos**.

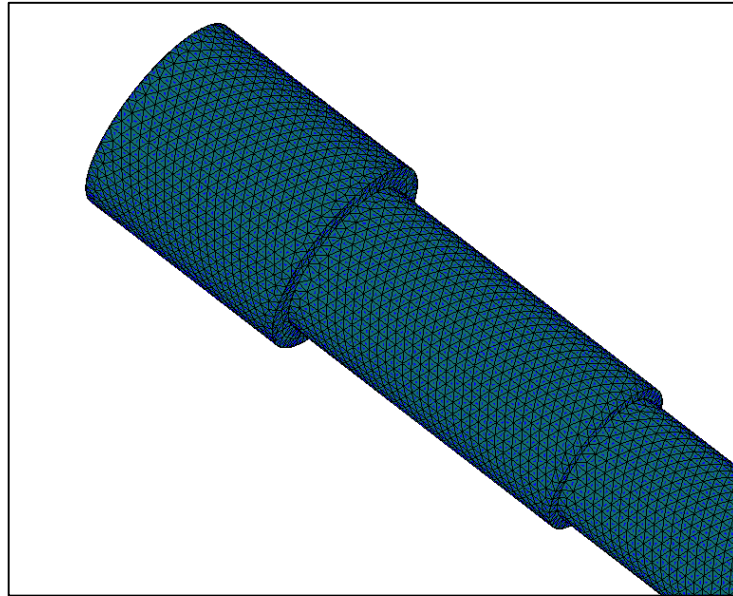


Figura 2.17. *Detalle del mallado del punzón A (Diseño previo)*

- Definición de las propiedades del material:

Las propiedades necesarias para realizar la simulación son: densidad, módulo de Young, coeficiente de Poisson y límite elástico.

Las propiedades del acero F-5220 templado y revenido son las siguientes:

Densidad (kg/m ³)	7800
Módulo de Young (MPa)	190000
Coeficiente de Poisson	0,3
Límite elástico, Syt (MPa)	1500
Tensión de rotura, Sut (MPa)	1690

Tabla 2.6. *Propiedades del acero F-5220 templado y revenido.*

La densidad se introduce en *MarcMentat* en unidades de Mg/mm³.

Estas propiedades se mantienen iguales para todos los punzones, ya que son del mismo material y con los mismos tratamientos térmicos.

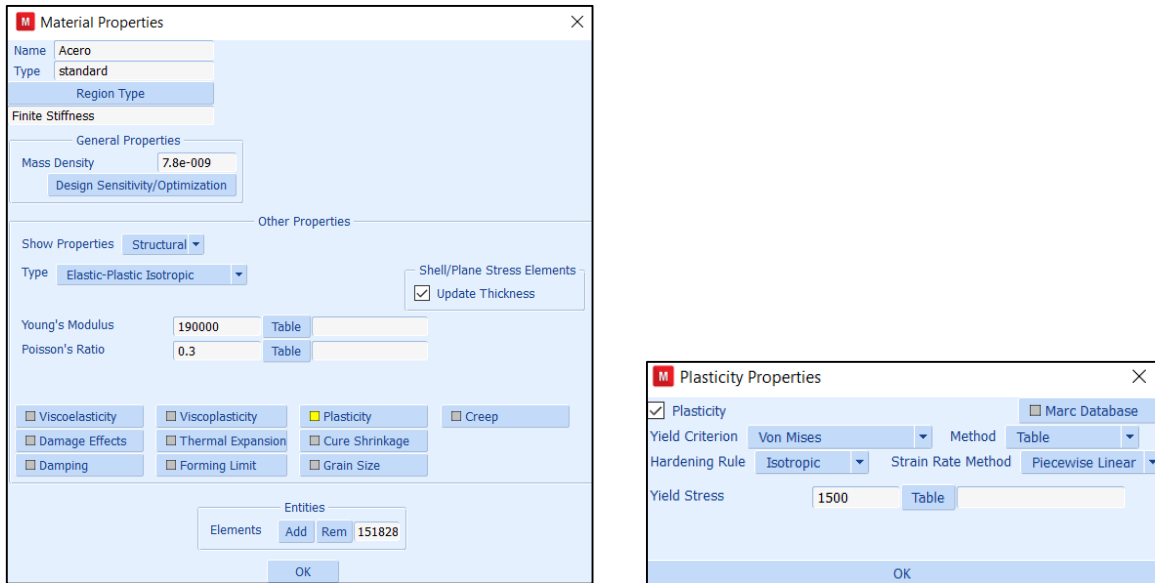


Figura 2. 18. Definición de las propiedades del material

- Definición de las condiciones de contorno:

Las condiciones de contorno o *Boundary Conditions* son condiciones que se le aplican al modelo para tratar de caracterizar su comportamiento real. Se introducen las siguientes:

- 1) Restricción de movimiento en dirección axial del plano superior del punzón, simulando la placa sufridera.
- 2) Restricción de movimiento radial de nodos en contacto con placa porta punzones. Cambio a sistema de coordenadas cilíndrico.
- 3) Carga axial en nodos de plano inferior. La carga se introduce por nodos, y el valor se obtiene dividiendo la fuerza de corte por el número de nodos en los que se aplica.

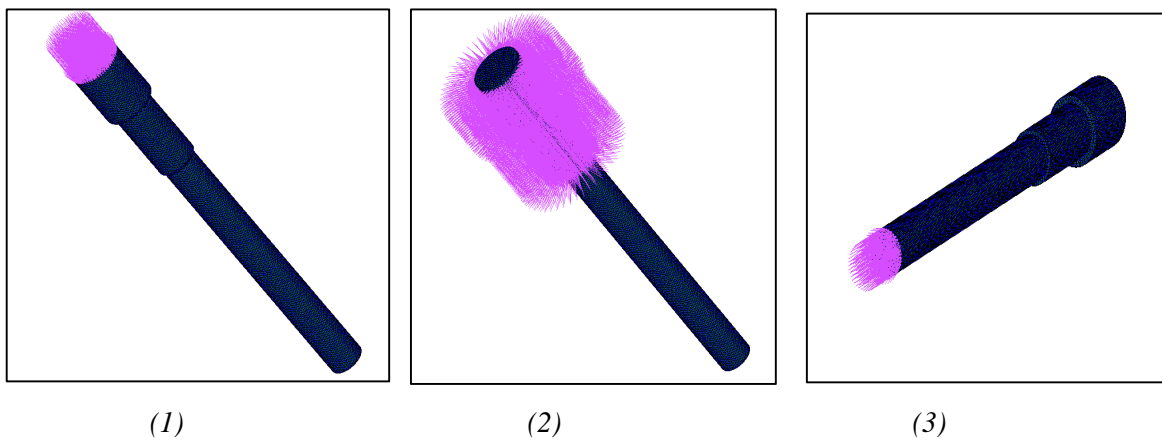


Figura 2.19. Condiciones de contorno de Punzón A (previo)

- Parámetros de cálculo:

Se emplea un método numérico iterativo **Newton-Raphson** con un único paso de cálculo y matrices no definidas positivas y se **lanza la simulación**.

- Obtención de resultados:

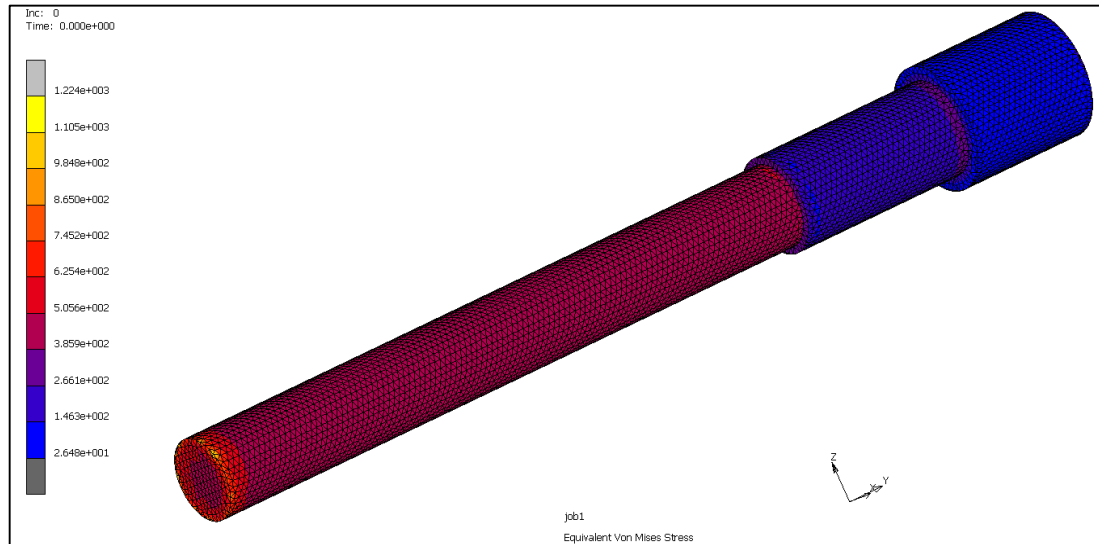


Figura 2.20. Tensión Von Misses Equivalente para punzón A (previo)

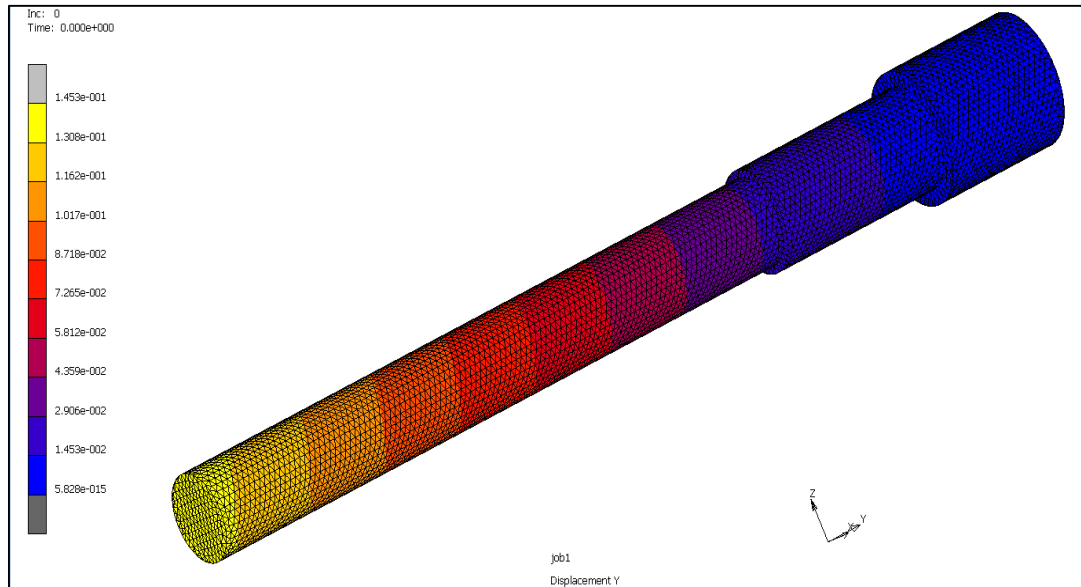


Figura 2.21. Desplazamiento axial para punzón A (previo)

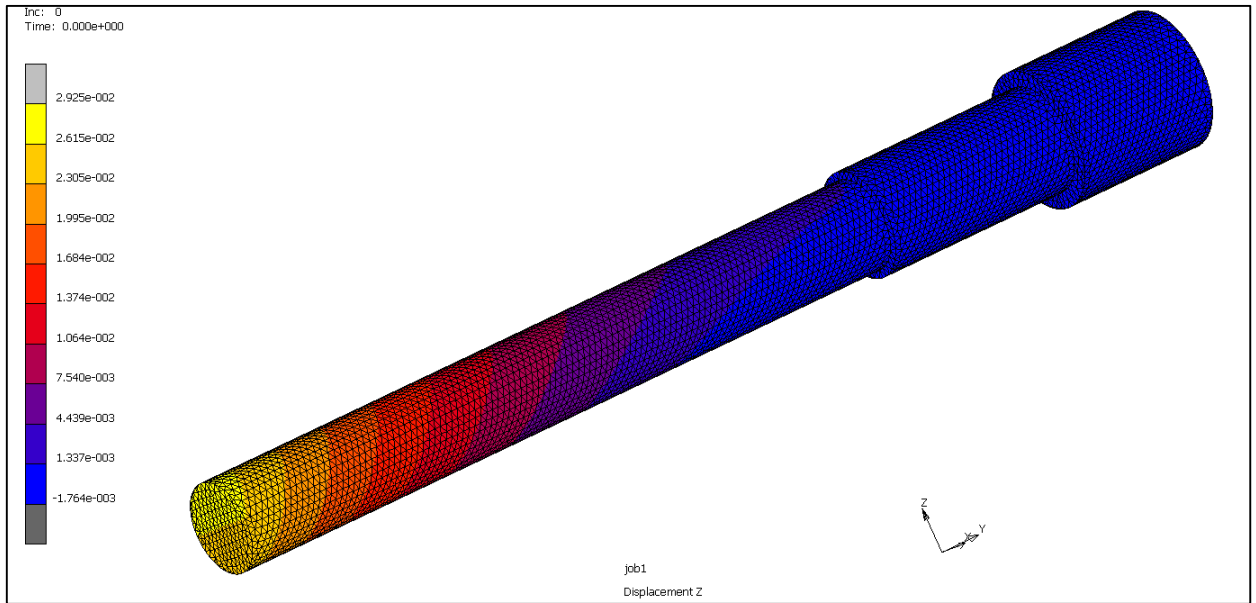


Figura 2.22. *Desplazamiento radial para punzón A (previo)*

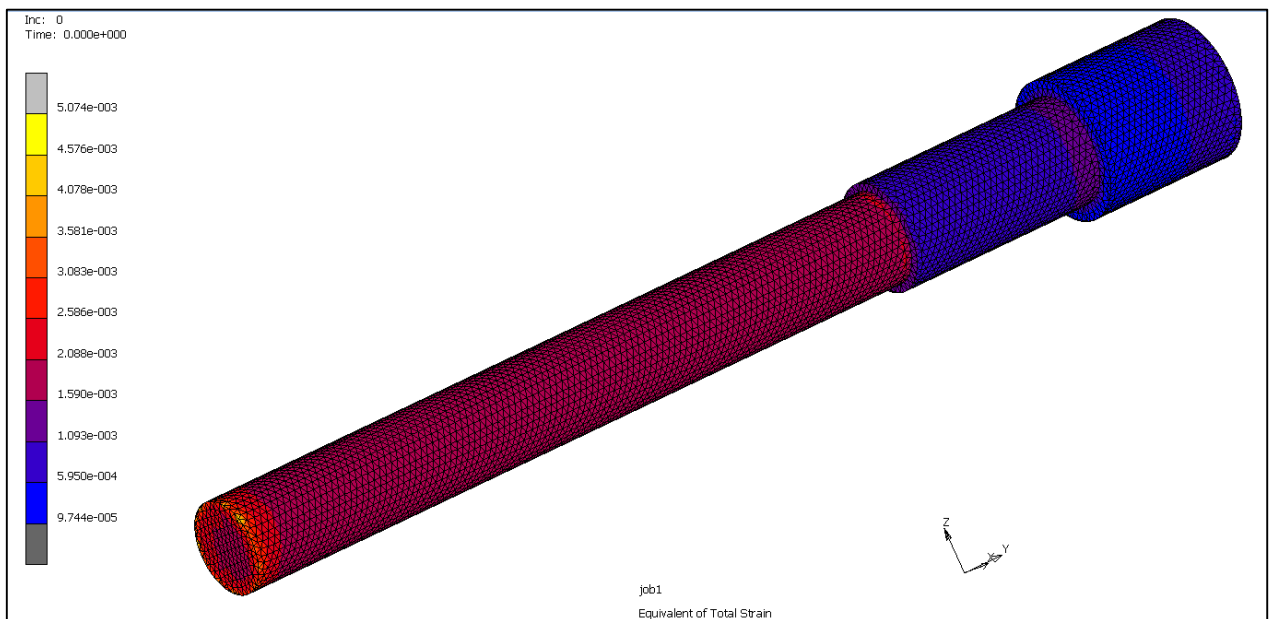


Figura 2.23. *Deformación total equivalente para punzón A (previo)*

- Conclusiones:

- 1) La tensión equivalente Von Misses máxima es de **1224 MPa** y se da en la arista de corte. En las zonas de cambio de diámetro también se elevan las tensiones. Se plantea un rediseño para corregir estos defectos y aumentar la vida del punzón A.
- 2) La tensión máxima en el primer cambio de diámetros es de alrededor a 625 MPa.
- 3) La tensión en el cambio de diámetros del alojamiento es de aproximadamente 300 MPa.

- 4) La tensión nominal en la zona más estrecha coincide con la calculada de forma analítica. Es de aproximadamente 470 MPa.
- 5) El **desplazamiento axial máximo** debido a la compresión es de **145 μm** .
- 6) En la zona del alojamiento no hay desplazamiento radial debido al efecto de la placa porta punzones.
- 7) El **desplazamiento radial máximo** es de **29 μm** . No se produce fenómeno de pandeo.
- 8) La deformación equivalente máxima es de 0,005 o 0,5%. Se trata de **deformación elástica** que se recupera cuando cesa la fuerza, porque no se supera el límite elástico del material. La **deformación plástica es nula**.
- 9) El factor de seguridad estático según Von Mises es de $FS = \frac{S_{yt}}{\sigma_{VM}^{m\acute{a}x}} = \frac{1500}{1224} = \mathbf{1,22}$

7.3.2. Punzón tipo A (Diseño final)

- Creación del modelo:

Se realiza un rediseño en *SolidWorks* del punzón A en el que se incluye un **afilado** en punta de cono de 1 mm de altura en la zona de corte, un **redondeo de radio 8 mm** en la primera transición de diámetros y un **chaflanado a 45°** en la transición de diámetros del alojamiento. Se importa la geometría a *Marc Mentat* en formato. Parasolid.

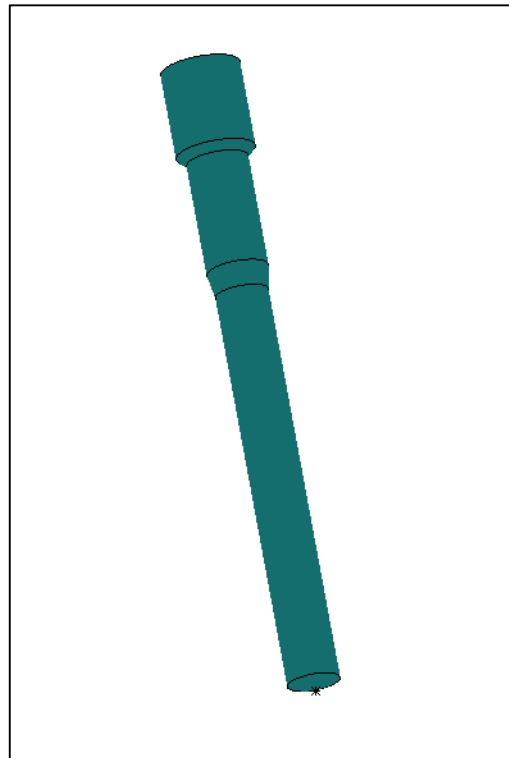


Figura 2.24. *Modelo final de punzón A importado en MarcMentat*

- Creación de la malla:

Se realiza un **mallado tetraédrico lineal** con un tamaño de elemento de **0,45 mm**.

La malla creada posee **29036 nodos** y **150075 elementos**.

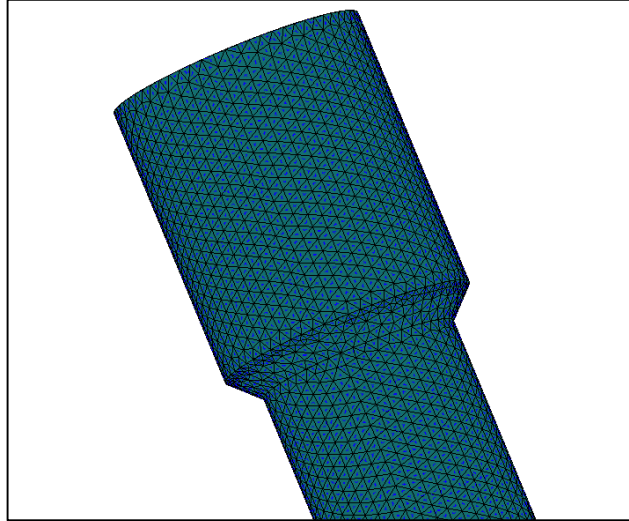


Figura 2.25. Detalle del mallado del punzón A (Diseño final)

- Definición de las propiedades del material:

Las propiedades se aplican de la misma forma que para el caso anterior, seleccionando todos los elementos del sólido.

- Definición de las condiciones de contorno:

Las condiciones de contorno o *Boundary Conditions* son condiciones que se le aplican al modelo para tratar de caracterizar su comportamiento real. Se introducen las siguientes:

- 1) Restricción de movimiento en dirección axial del plano superior del punzón, simulando la acción de la placa sufridera sobre la cabeza del punzón.
- 2) Restricción de movimiento radial de nodos en contacto con placa porta punzones. Cambio a sistema de coordenadas cilíndrico.
- 3) Carga axial en nodos del cono inferior. La distribución de cargas se hace dividiendo el cono en 3 partes de igual altura, e imponiendo sobre los nodos seleccionados una fuerza relativa a 1/3 de la fuerza de corte, que es de 13300 N. De esta forma se somete a la zona de la punta a una condición más desfavorable, ya que es la zona del punzón que primero comienza a cortar la chapa.

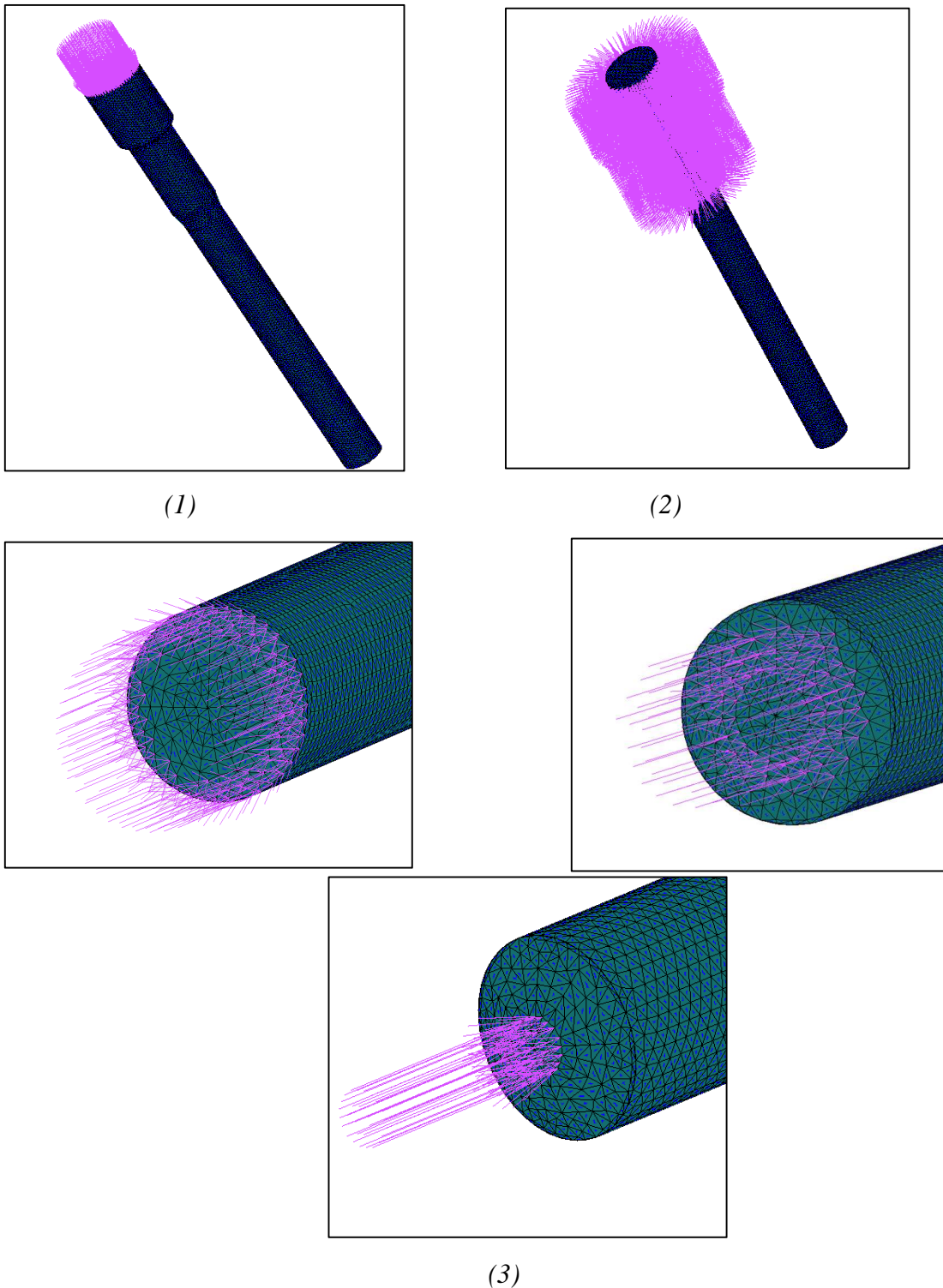


Figura 2.26. Condiciones de contorno de punzón A (final)

- Parámetros de cálculo:

Se emplea un método numérico iterativo **Newton-Raphson** con un único paso de cálculo y matrices no definidas positivas y se **lanza la simulación**.

• Obtención de resultados:

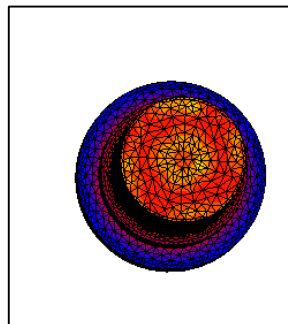
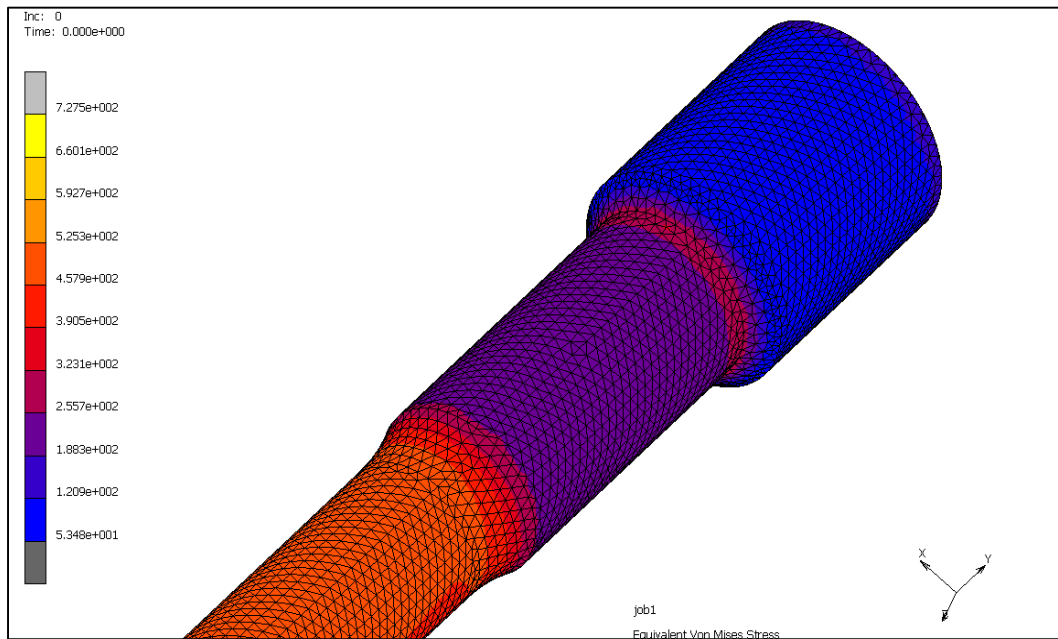
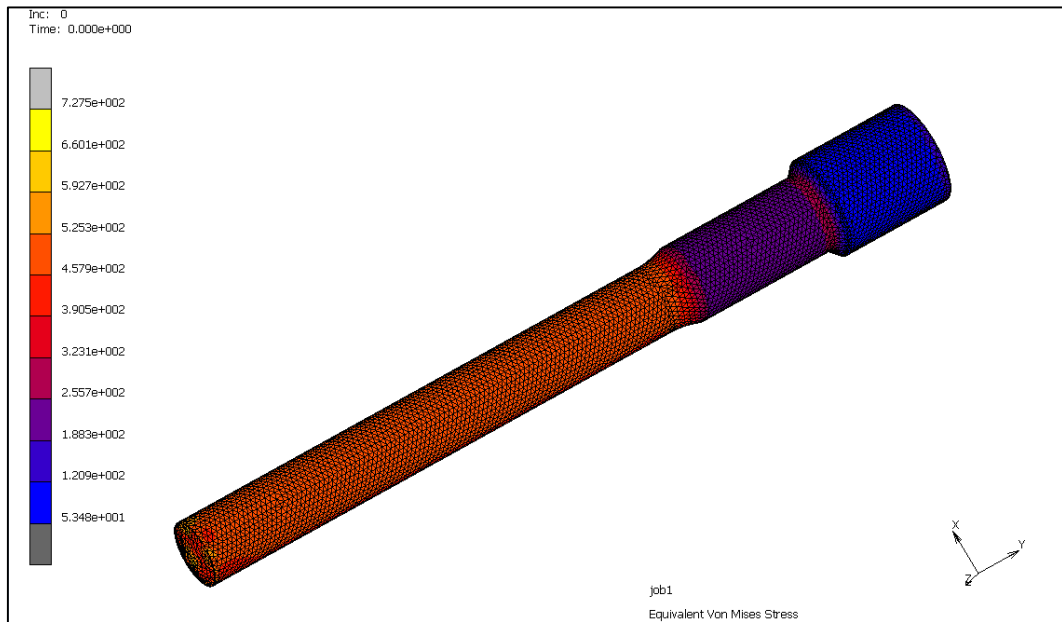


Figura 2.27. Tensión Von Misses Equivalente para punzón A (final)

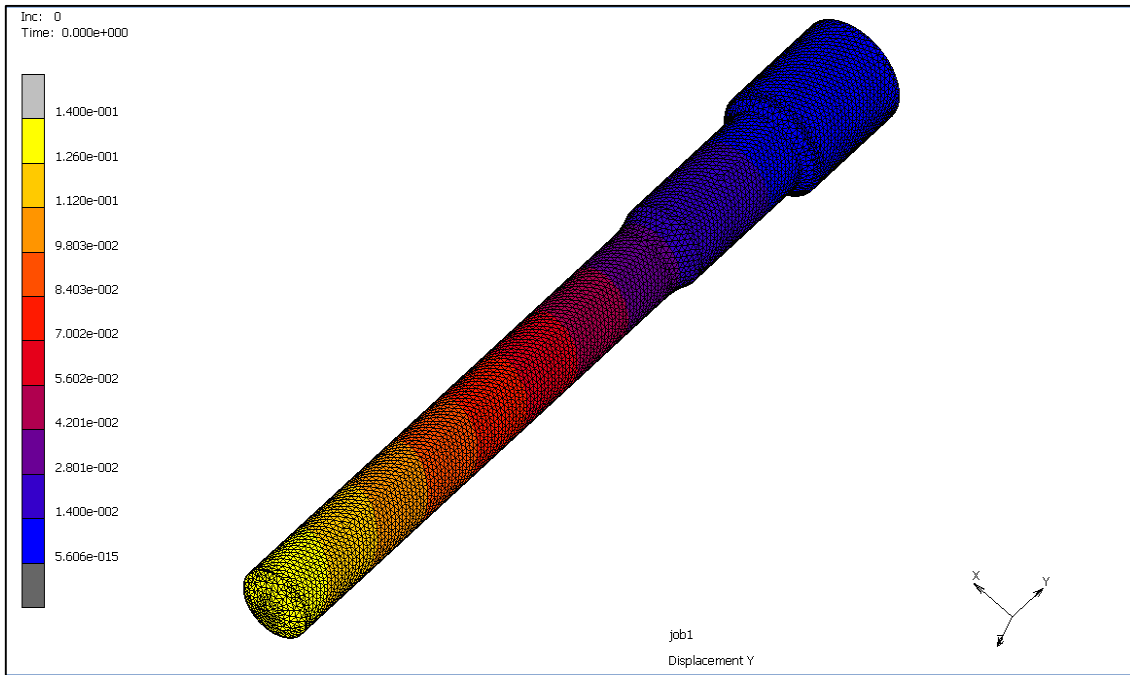


Figura 2.28. *Desplazamiento axial para punzón A (final)*

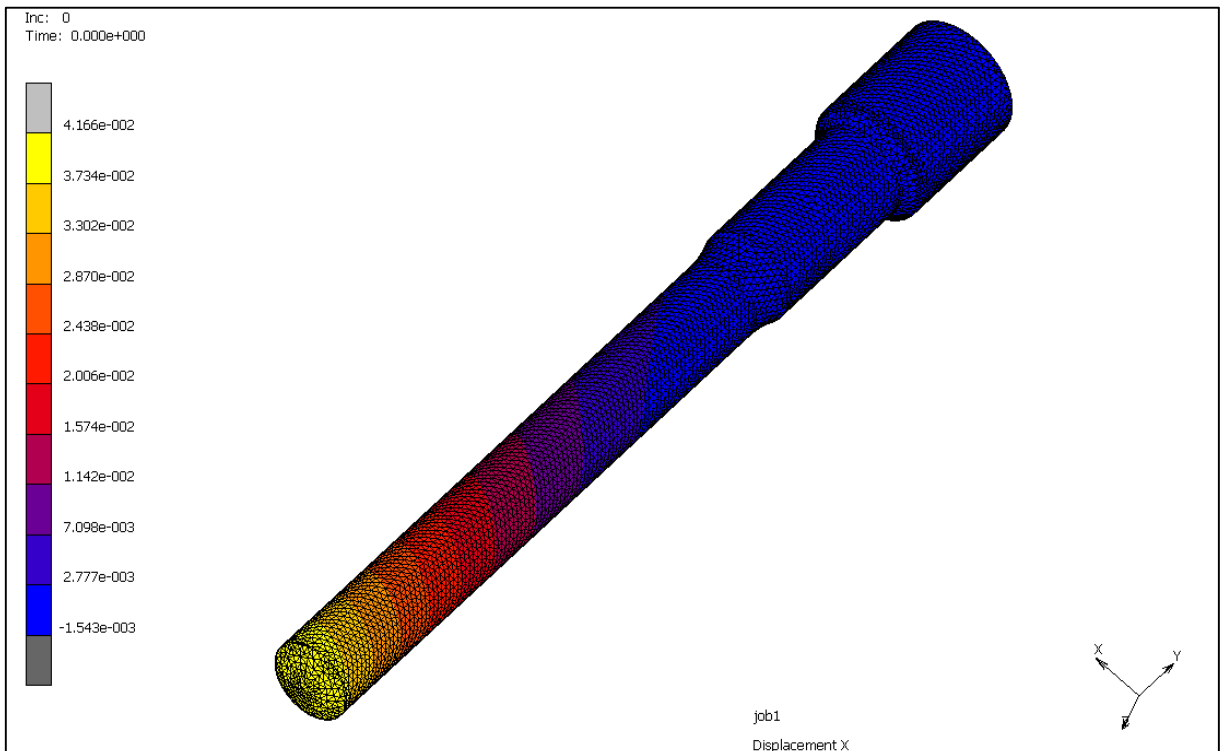


Figura 2.29. *Desplazamiento radial para punzón A (final)*

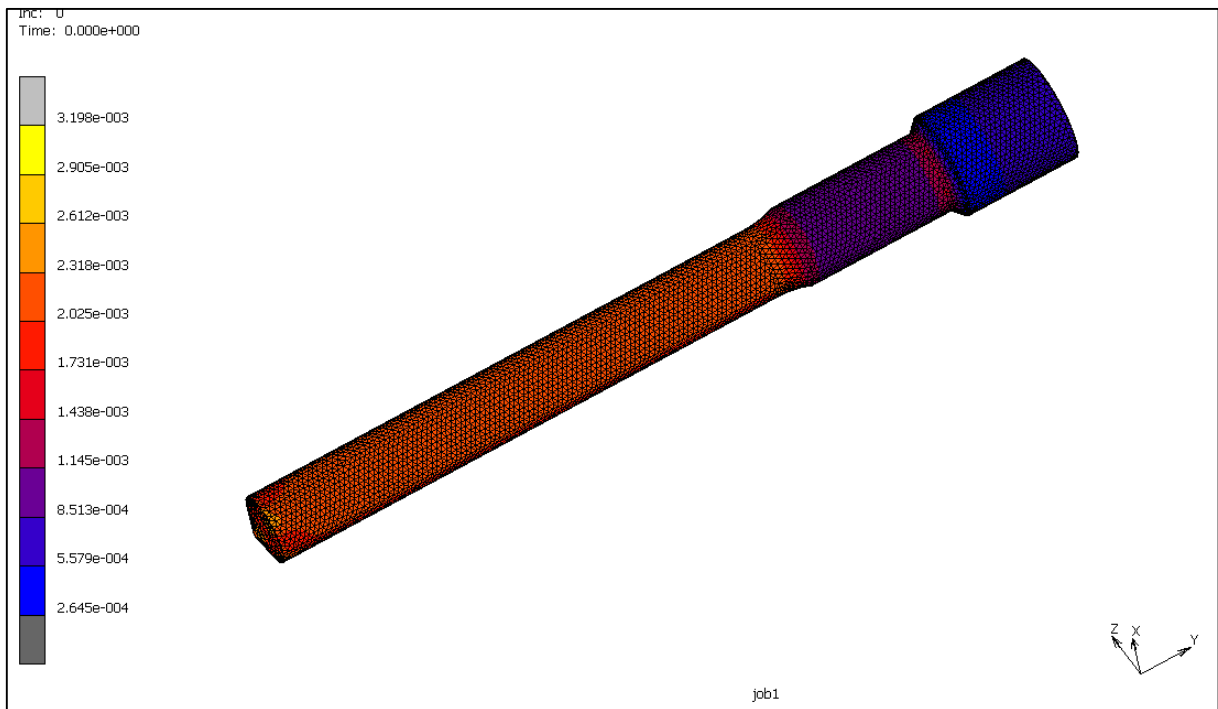


Figura 2.30. Deformación total equivalente para punzón A (final)

- Conclusiones:

- 1) La tensión equivalente Von Misses máxima es de **727 MPa** y se da en la arista de corte y en los alrededores de la punta afilada. Se ha reducido considerablemente el valor obtenido para el diseño previo.
- 2) La tensión máxima en el primer cambio de diámetros es de alrededor a 430 MPa. Frente a los 625 MPa que se daban si radio de curvatura, se obtiene una buena mejoría.
- 3) La tensión en el cambio de diámetros del alojamiento es de aproximadamente 260 MPa. También se ha reducido ligeramente este valor de tensiones gracias al chaflanado.
- 4) La tensión nominal en la zona más estrecha coincide con la calculada de forma analítica. Es de aproximadamente 470 MPa.
- 5) El **desplazamiento axial máximo** debido a la compresión es de **140 μm**.
- 6) En la zona del alojamiento no hay desplazamiento radial debido al efecto de la placa porta punzones.
- 7) El **desplazamiento radial máximo** es de **41 μm**. No se produce fenómeno de pandeo.
- 8) La deformación equivalente máxima es de 0,0032 o 0,32%. Se trata de **deformación elástica** que se recupera cuando cesa la fuerza, porque no se supera el límite elástico del material. La **deformación plástica es nula**.
- 9) El factor de seguridad estático según Von Misses es de $FS = \frac{S_{yt}}{\sigma_{VM}^{m\acute{a}x}} = \frac{1500}{727} = \mathbf{2,06}$

7.3.3. Punzón tipo D

- Creación del modelo:

Se diseña el punzón D en SolidWorks y se importa a *MarcMentat* como .Parasolid.

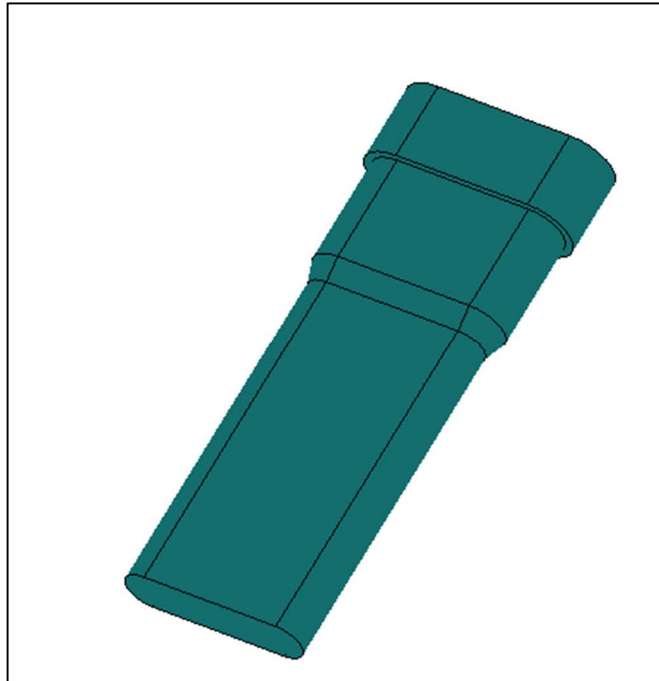


Figura 2.31. Modelo de punzón D importado en MarcMentat

- Creación de la malla:

Se realiza un **mallado tetraédrico lineal** con un tamaño de elemento de **0,8 mm**.

La malla creada posee **24920 nodos** y **128910 elementos**.

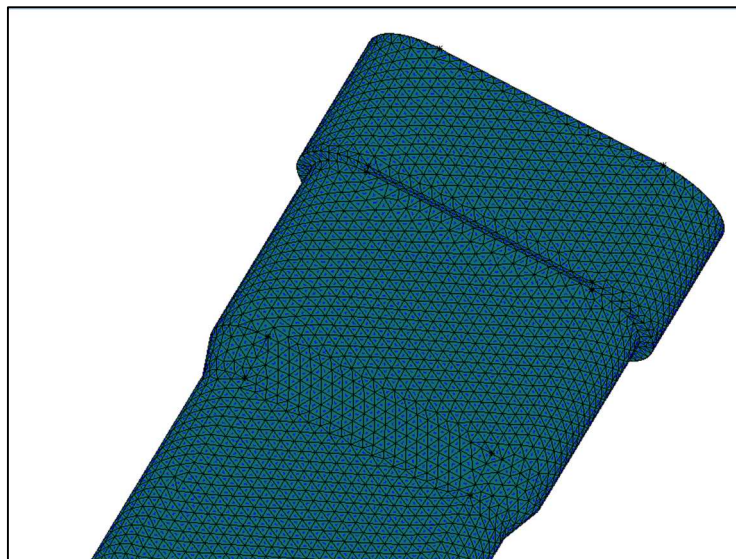


Figura 2.32. Detalle del mallado del punzón D

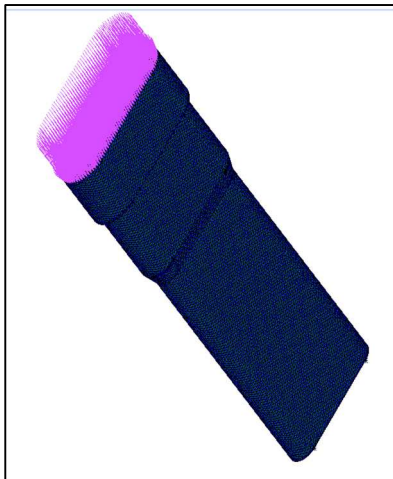
- Definición de las propiedades del material:

Las propiedades se aplican de la misma forma que en el primer caso, seleccionando todos los elementos del sólido.

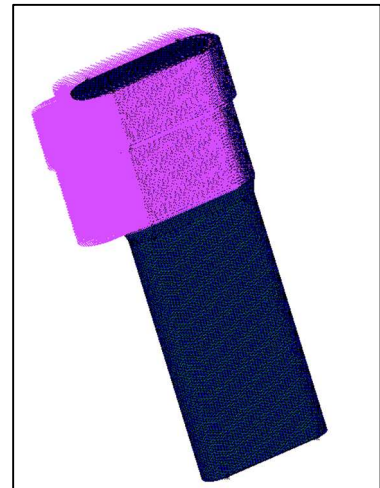
- Definición de las condiciones de contorno:

Las condiciones de contorno o *Boundary Conditions* son condiciones que se le aplican al modelo para tratar de caracterizar su comportamiento real. Se introducen las siguientes:

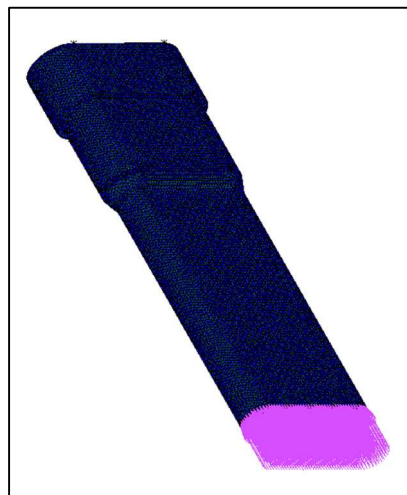
- 1) Restricción de movimiento en dirección axial del plano superior del punzón, simulando la acción de la placa sufridera sobre la cabeza del punzón.
- 2) Restricción de movimiento en el plano de nodos en contacto con placa porta punzones.
- 3) Carga axial en nodos del cono inferior. La carga se aplica por nodo y el valor se calcula dividiendo la fuerza de corte del punzón entre la cantidad de nodos en la cara inferior. La fuerza de corte es de 37291 N.



(1)



(2)



(3)

Figura 2.33. Condiciones de contorno de punzón D

- Parámetros de cálculo:

Se emplea un método numérico iterativo **Newton-Raphson** con un único paso de cálculo y matrices no definidas positivas y se **lanza la simulación**.

- Obtención de resultados:

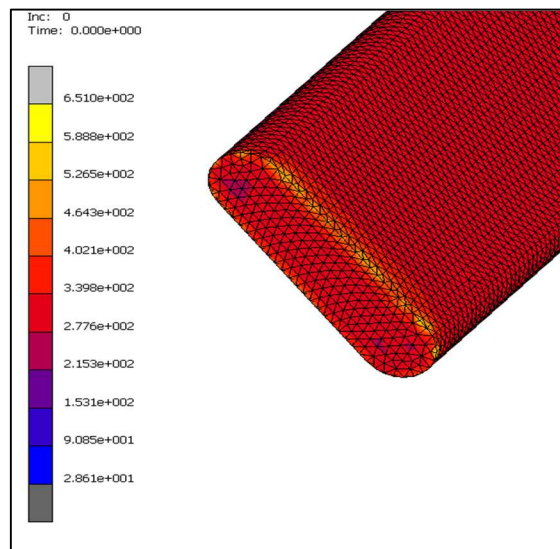
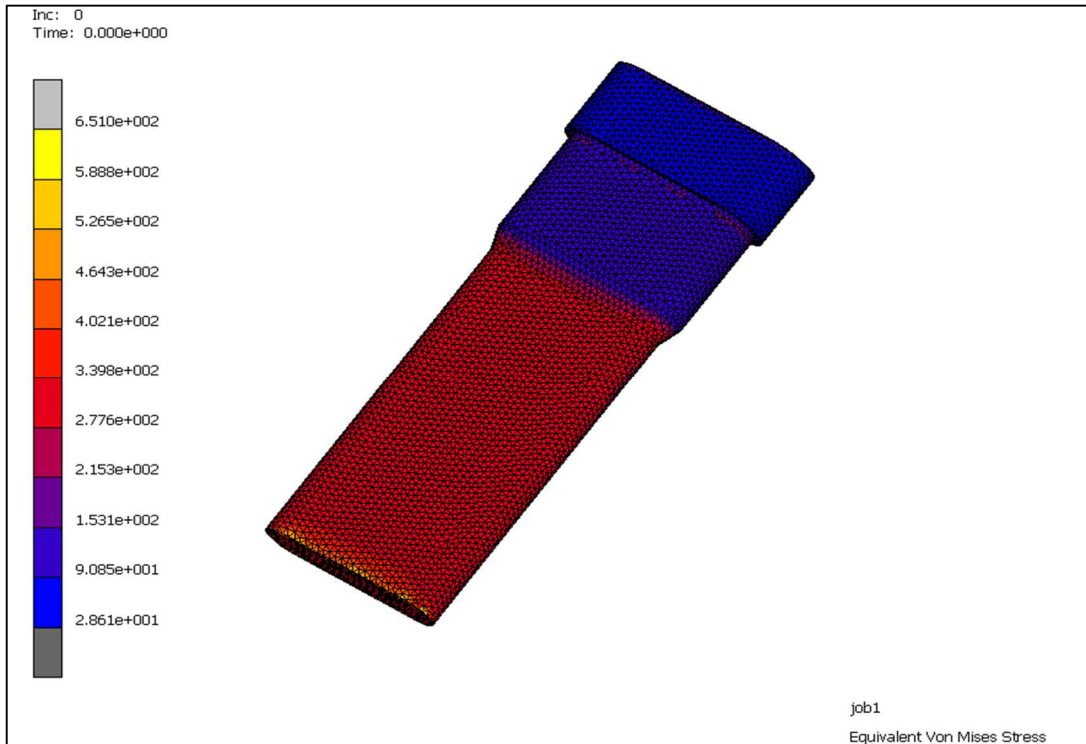


Figura 2.34. Tensión equivalente Von Misses para punzón D

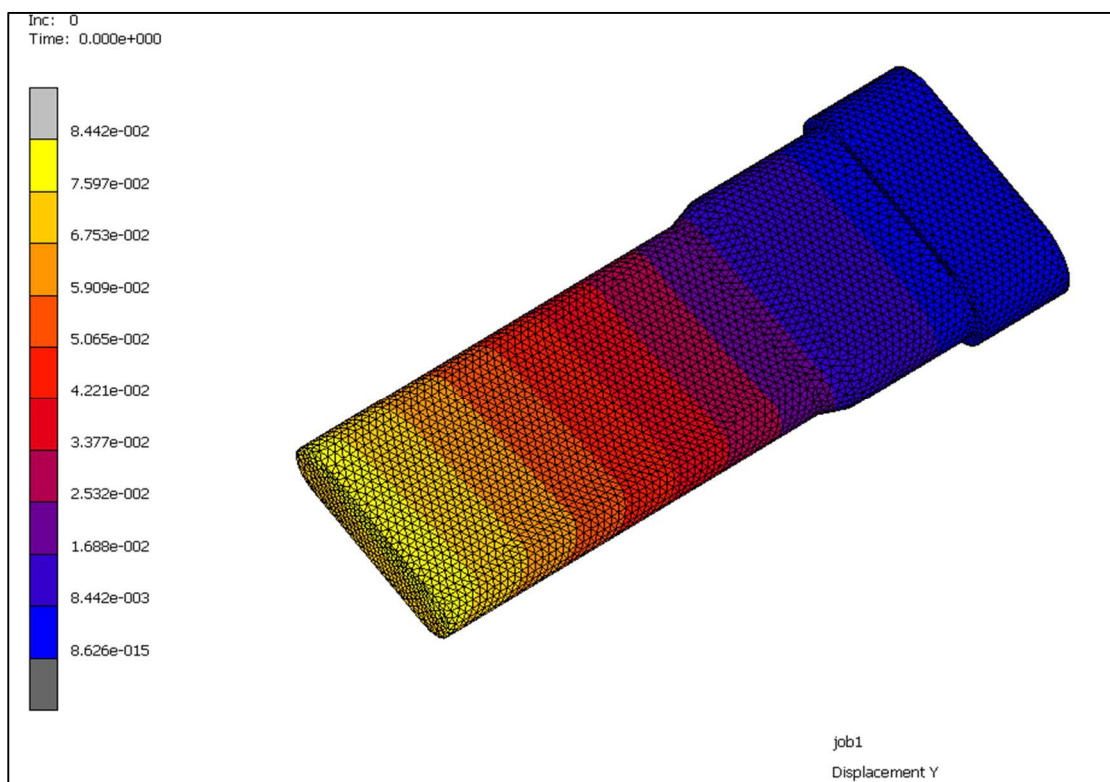


Figura 2.35. Desplazamiento axial para punzón D

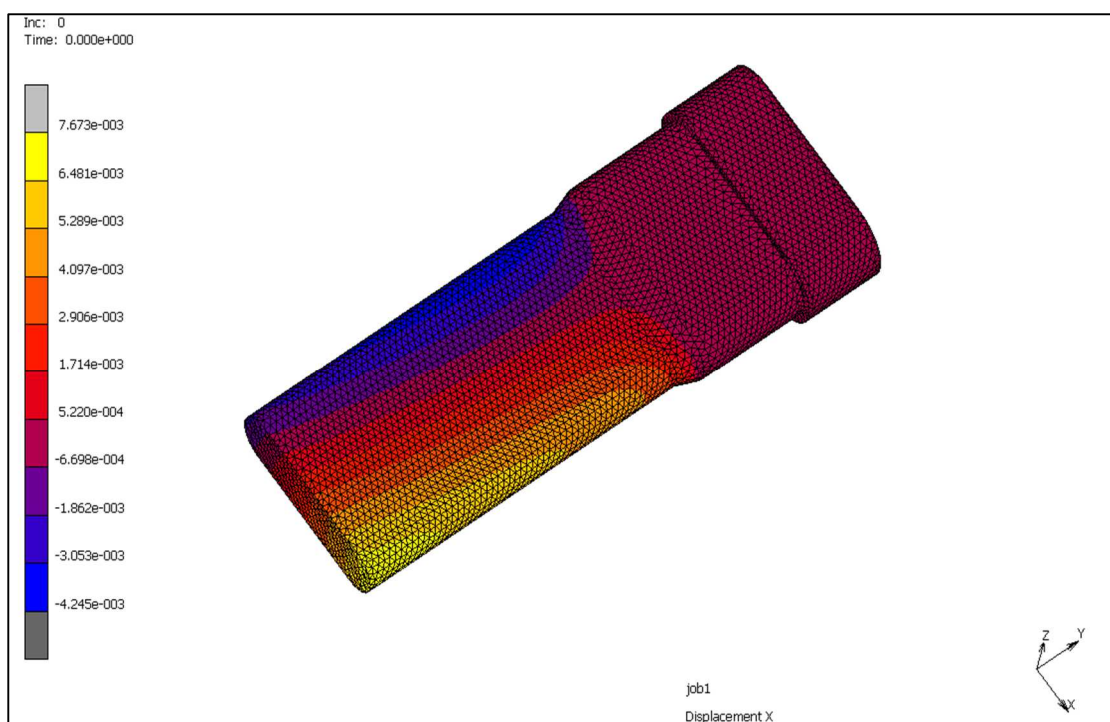


Figura 2.36. Desplazamiento en eje X para punzón D

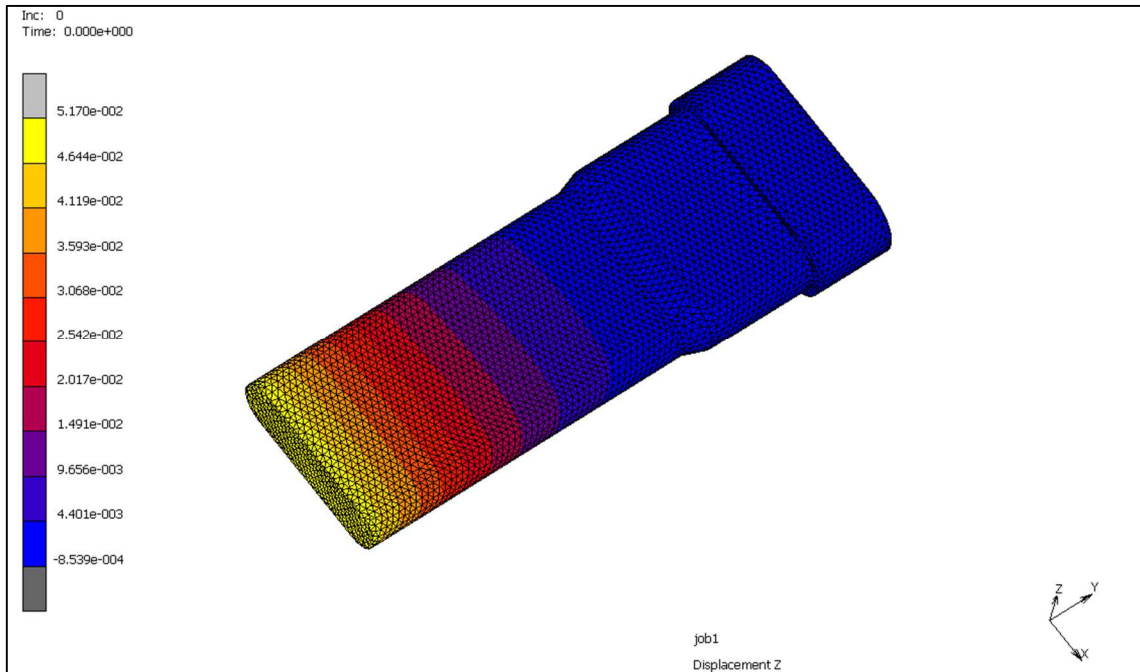


Figura 2.37. Desplazamiento en eje Z para punzón D

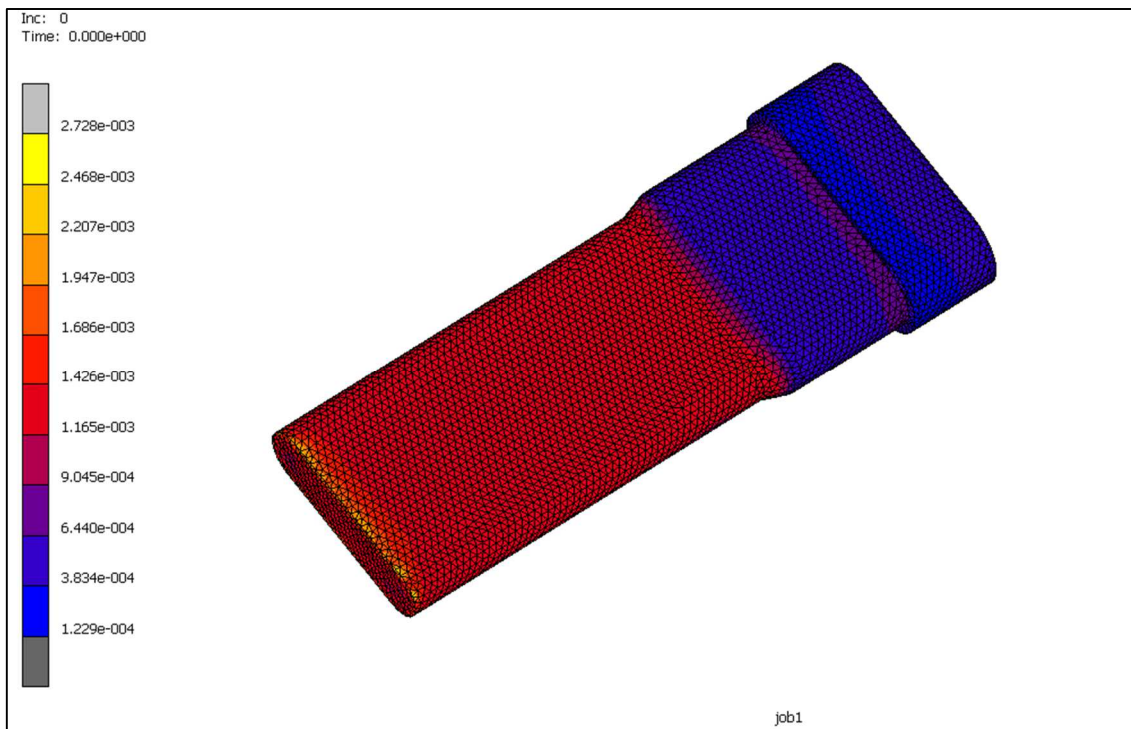


Figura 2.38. Deformación total equivalente para punzón D



• Conclusiones:

- 1) La tensión equivalente Von Misses máxima es de **651 MPa** y se da en las aristas de corte del punzón.
- 2) La tensión en el cambio de diámetros del alojamiento es de aproximadamente 150 MPa.
- 3) La tensión nominal en la zona más estrecha coincide con la calculada de forma analítica. Es de aproximadamente 280 MPa.
- 4) El **desplazamiento axial máximo** debido a la compresión es de **84 μm**.
- 5) En la zona del alojamiento no hay desplazamiento en el plano debido al efecto de la placa porta punzones.
- 6) El desplazamiento máximo en el eje X es de **7,6 μm**.
- 7) El desplazamiento máximo en el eje Z es de **52 μm**.
- 8) El desplazamiento es mayor en el eje de menor inercia, el más susceptible a pandeo.
- 9) La deformación equivalente máxima es de 0,0027 o 0,27 %. Se trata de **deformación elástica** que se recupera cuando cesa la fuerza, porque no se supera el límite elástico del material. La **deformación plástica es nula**.
- 10) El factor de seguridad estático según Von Misses es de $FS = \frac{S_{yt}}{\sigma_{m\acute{a}x}^{VM}} = \frac{1500}{651} = \mathbf{2,3}$
- 11) El punzón D es el segundo elemento más desfavorable del troquel, después del punzón A.

7.4. CÁLCULO DE RESISTENCIA A LA FATIGA PARA PUNZÓN A

Una vez detectado el punzón más débil y calculada su tensión máxima se procede a calcular su **resistencia a fatiga**, ya que el funcionamiento del troquel es dinámico y las compresiones que sufren los punzones son **alternas**.

Hacia 1920 se descubrió que el 90% de las piezas fallaban debido al fenómeno de fatiga.

En la rotura por fatiga aparece una micro grieta que crece a medida que se realizan ciclos de carga hasta alcanzar un tamaño tal que la sección residual es incapaz de soportar la carga máxima en el ciclo y finalmente la zona restante rompe.

El objetivo de este apartado es comprobar la **resistencia del punzón A a fatiga**.

El límite de resistencia a la fatiga teórico, obtenido para una probeta de ensayo se define como:

$$S'_e = \begin{cases} 0.504 \cdot S_{ut} & \text{para } S_{ut} \leq 1400 \text{ MPa} \\ 700 \text{ MPa} & \text{para } S_{ut} > 1400 \text{ MPa} \end{cases}$$

Donde S_{ut} es la resistencia a la tracción del material.

Como $S_{ut} = 1690 \text{ MPa} > 1400 \text{ MPa}$, $S'_e = 700 \text{ MPa}$.



Se emplean una serie de factores modificadores que permiten relacionar el límite de resistencia a la fatiga de un elemento mecánico S_e con los resultados de límite de resistencia a la fatiga obtenidos con las probetas de ensayo, S_e' . Estos factores incluyen por lo tanto la influencia de las diferencias con los casos reales.

- Factor de superficie K_a
- Factor de tamaño K_b
- Factor de carga K_q
- Factor de temperatura K_d
- Factor de concentración de tensiones K_e
- Factor de confiabilidad K_c

$$S_e = K_a \cdot K_b \cdot K_q \cdot K_d \cdot K_e \cdot K_c \cdot S_e'$$

- Factor de superficie K_a

La superficie de la probeta corresponde a un pulido especular pero la de la pieza, en general, presenta una rugosidad mayor. La sensibilidad a la rugosidad superficial es mayor cuanto mayor es la resistencia del material. El factor K_a se calcula como:

$$K_a = a \cdot (S_{ut})^b$$

Acabado de superficie	Factor a		Exponente b
	kpsi	MPa	
Esmerilado (rectificado)	1,34	1,58	-0,085
Maquinado o estirado en frío	2,70	4,51	-0,265
Laminado en caliente	14,4	57,7	-0,718
Forjado	39,9	272	-0,995

Tabla 2.7. Exponentes a y b en función del acabado superficial

Tomando los valores de un buen acabado superficial (asociado al rectificado) se obtiene:

$$K_a = 1,58 \cdot (1690)^{-0,085} = \mathbf{0,84}$$

- Factor de tamaño K_b

Cuanto mayor sea el volumen de la pieza sometida a tensiones elevadas, mayor será la probabilidad de encontrar un defecto de tamaño crítico que provoque el inicio de la grieta de fatiga. Por ello, se debe considerar el factor de tamaño. Para carga axial se aplica:

$$K_b = 1 \text{ para } d < 10 \text{ mm}$$

$$K_b \text{ entre } 0,6 \text{ y } 0,7 \text{ para } d > 10 \text{ mm}$$

$$\text{Como } d = 6 \text{ mm, } K_b = \mathbf{1}$$

- Factor de carga K_q

Para cargas axiales se tiene:

$$Kq = 0.923 \text{ para } S_{ut} < 1520 \text{ MPa}$$

$$Kq = 1 \text{ para } S_{ut} > 1520 \text{ MPa}$$

Como $S_{ut} = 1690 \text{ MPa}$, $Kq = 1$

- Factor de temperatura K_d

Este factor considera la diferencia de temperatura entre el ensayo realizado y la temperatura de operación. Se calcula como:

$$K_d = S_{uT}/S_u$$

Para ello se emplea la siguiente tabla:

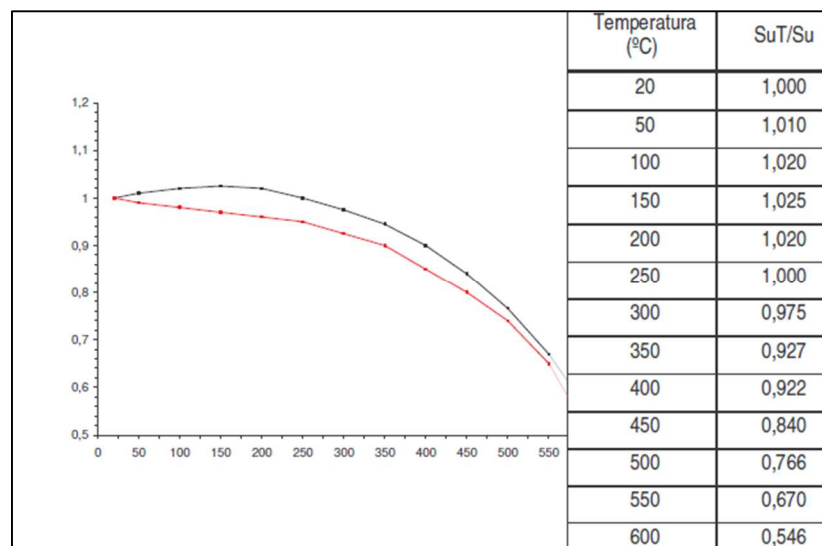


Figura 2.39. Variación de propiedades con la temperatura

Para una temperatura de trabajo de 35°C, $K_d = 1,005$

- Factor de concentración de tensiones K_e

El fallo por fatiga es muy sensible a la existencia de entalla. El efecto de la entalla sobre la resistencia a la fatiga se expresa mediante el factor de concentración de esfuerzo por fatiga K_f . Como se ha obtenido el valor tensional del punzón mediante elementos finitos, el cálculo a fatiga se realiza con la hipótesis de concentrador de tensiones, y no como reductor de la resistencia. Luego, $K_f = 1$.

- Factor de confiabilidad K_c

La fatiga es un fenómeno estadístico. La distribución de las resistencias a la fatiga es una distribución normal para un número fijo de ciclos, con una desviación típica σ . El factor de confiabilidad se calcula como:

$$K_c = 1 - \sigma \cdot D$$

Donde σ es la desviación típica en aceros (8%) y D un factor de multiplicación que depende de la probabilidad de vida según la siguiente tabla:

Probabilidad de vida	Factor de multiplicación de la desviación D
50	0
85	1
90	1.3
95	1.6
99	2.3
99.9	3.1
99.99	3.7

Para una probabilidad de vida del 95% se obtiene, $K_c = 1 - 0,08 \cdot 1,6 = \mathbf{0,872}$

Una vez obtenidos todos los factores modificadores, se calcula S_e :

$$S_e = K_a \cdot K_b \cdot K_q \cdot K_d \cdot K_e \cdot K_c \cdot S_e' = 0,84 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,005 \cdot 1 \cdot 0,872 \cdot 700 = 515,3 \text{ MPa}$$

La curva S-N para esfuerzos axiales alternos es la siguiente:

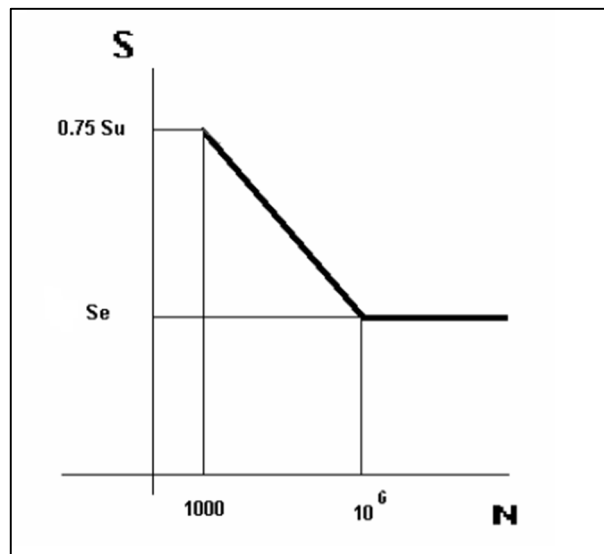


Figura 2.40. Curva S-N para acero sometido a esfuerzo axial alterno

El número de ciclos se emplea en escala logarítmica.

El cálculo de fatiga se plantea cuando existe una variación temporal de la carga actuante.

Se definen los siguientes valores característicos:

$$\sigma_{\max} = \text{tensión máxima} = 727 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\min} = \text{tensión mínima} = 0 \text{ MPa}$$

Con esto se calculan la **tensión alterna** y la **tensión media** de las tensiones fluctuantes:

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2} = 363,5 \text{ MPa (Compresiva)}$$

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2} = 363,5 \text{ MPa (Compresiva)}$$



Empleando la ecuación de la línea de fallo de **Goodman** y para un factor de seguridad $FS=2$, se calcula el número de ciclos que resiste el punzón. En este criterio se distingue entre tensiones medias tractivas y compresivas, y considera que las **tensiones medias compresivas no afectan en la vida a fatiga**.

$$\frac{\sigma_m}{S_{ut}/CS} + \frac{\sigma_a}{S_{en}/CS} = 1$$

La ecuación queda por lo tanto simplificada a:

$$\sigma_a/S_{en} = 1/CS$$

Sustituyendo, se obtiene $S_{en} = 727$ MPa.

Para calcular en número de ciclos que resiste el punzón se aplica el teorema de Tales en la gráfica S-N:

$$\frac{0,75 \cdot S_{ut} - S_e}{\log(10^6) - \log(1000)} = \frac{S_{en} - S_e}{\log(10^6) - \log(N)}$$

$$\frac{0,75 \cdot 1690 - 515,3}{6 - 3} = \frac{727 - 515,3}{6 - \log(N)}$$

$$\log(N) = 5,15; \quad \mathbf{N=141253 \text{ ciclos}}$$

En conclusión, el punzón más desfavorable aguanta aproximadamente 140000 ciclos con un factor de seguridad de 2, por lo que queda justificada su resistencia para la tirada de 20 000 ciclos. No obstante, fenómenos como el desgaste podrían provocar la necesidad de recambios.

El hecho de que los punzones trabajen a compresión alivia su trabajo en fatiga, pues la componente media de las tensiones fluctuantes no se tiene en cuenta. El hecho de emplear un material de alta calidad con elevada resistencia también es imprescindible.

En Pamplona, a 20 de junio de 2016.

Fdo: Alvaro Olcoz Alonso, estudiante de Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales.



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS
INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN

TRABAJO FIN DE GRADO

Titulación:

GRADO EN INGENIERÍA EN TÉCNOLOGÍAS INDUSTRIALES
(MENCIÓN MECÁNICA)

Título del proyecto:

“DISEÑO DE UN TROQUEL PROGRESIVO PARA LA
FABRICACIÓN DE DISCOS DE FRENO DE BICICLETA”

DOCUMENTO 3: PLANOS

Alvaro Olcoz Alonso

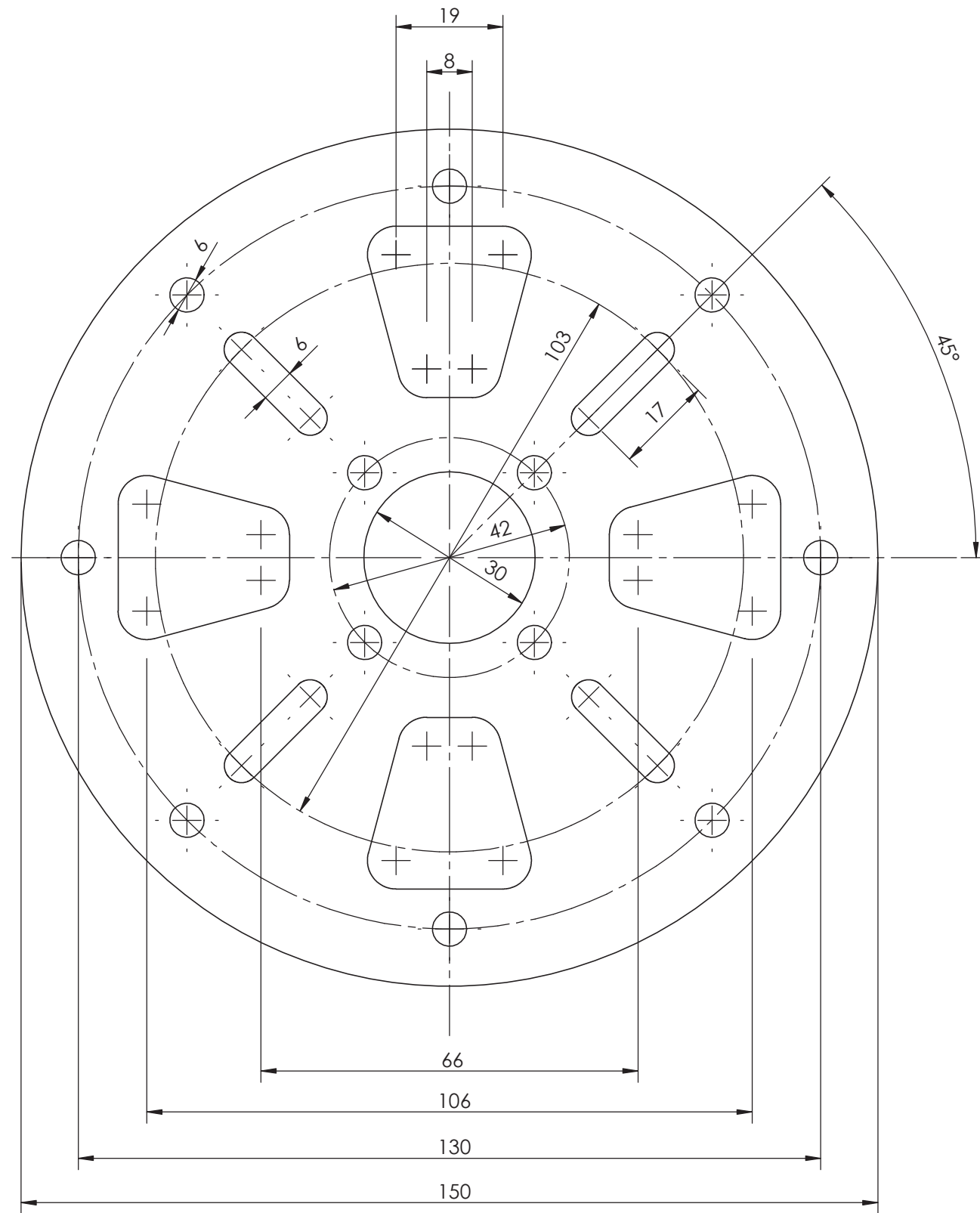
Tutora: Sara Marcelino Sadaba

Pamplona, Junio 2016

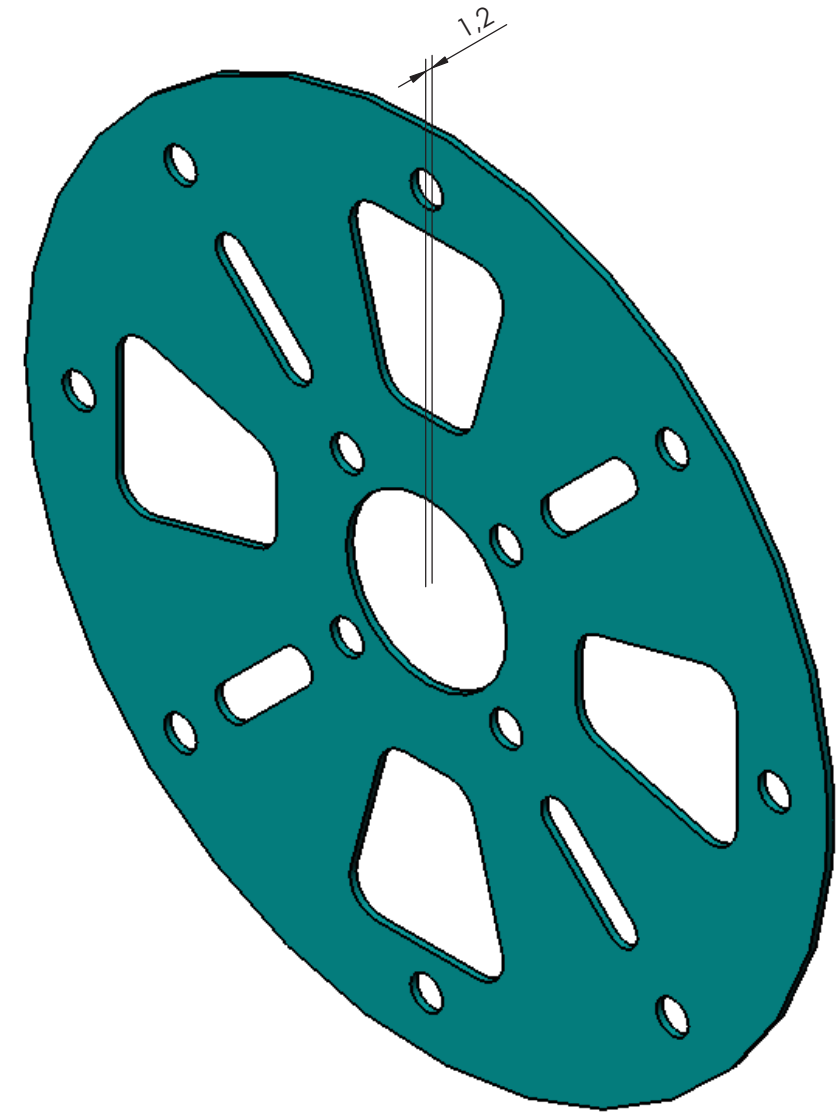


ÍNDICE DE PLANOS

1. DISCO DE FRENO
2. MONTAJE SUBCONJUNTO INFERIOR
3. MONTAJE SUBCONJUNTO CENTRAL
4. MONTAJE SUBCONJUNTO SUPERIOR
5. MONTAJE FINAL TROQUEL
6. DETALLES CONJUNTO TROQUEL
7. CONTENEDOR
8. PLACA BASE INFERIOR
9. PLACA MATRIZ
10. GUÍA DE BANDA SUPERIOR
11. GUÍA DE BANDA INFERIOR
12. PLACA PISADORA
13. PLACA GUÍA PUNZONES
14. PUNZÓN TIPO A
15. PUNZÓN TIPO B
16. PUNZÓN TIPO C
17. PUNZÓN TIPO D
18. PUNZÓN TIPO E
19. PLACA PORTA PUNZONES
20. PLACA SUFRIDERA
21. PLACA SUPERIOR



Todos los redondeos son de $R=5\text{ mm}$
 8 agujeros en la corona exterior
 4 agujeros en la corona interior



 Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa	E.T.S.I.I.T. INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES (MECÁNICA)	DEPARTAMENTO: DEPARTAMENTO DE PROYECTOS E INGENIRÍA RURAL			
	PROYECTO: DISEÑO DE UN TROQUEL PROGRESIVO PARA LA FABRICACIÓN DE DISCOS DE FRENO DE BICICLETA		PROYECTISTA: OLCOZ ALONSO, ALVARO		
PLANO: DISCO DE FRENO		MATERIAL: Acero inox. T302	Nº PLANO: 1	ESCALA: 1:1	FECHA: 06/2016
		FIRMA:			

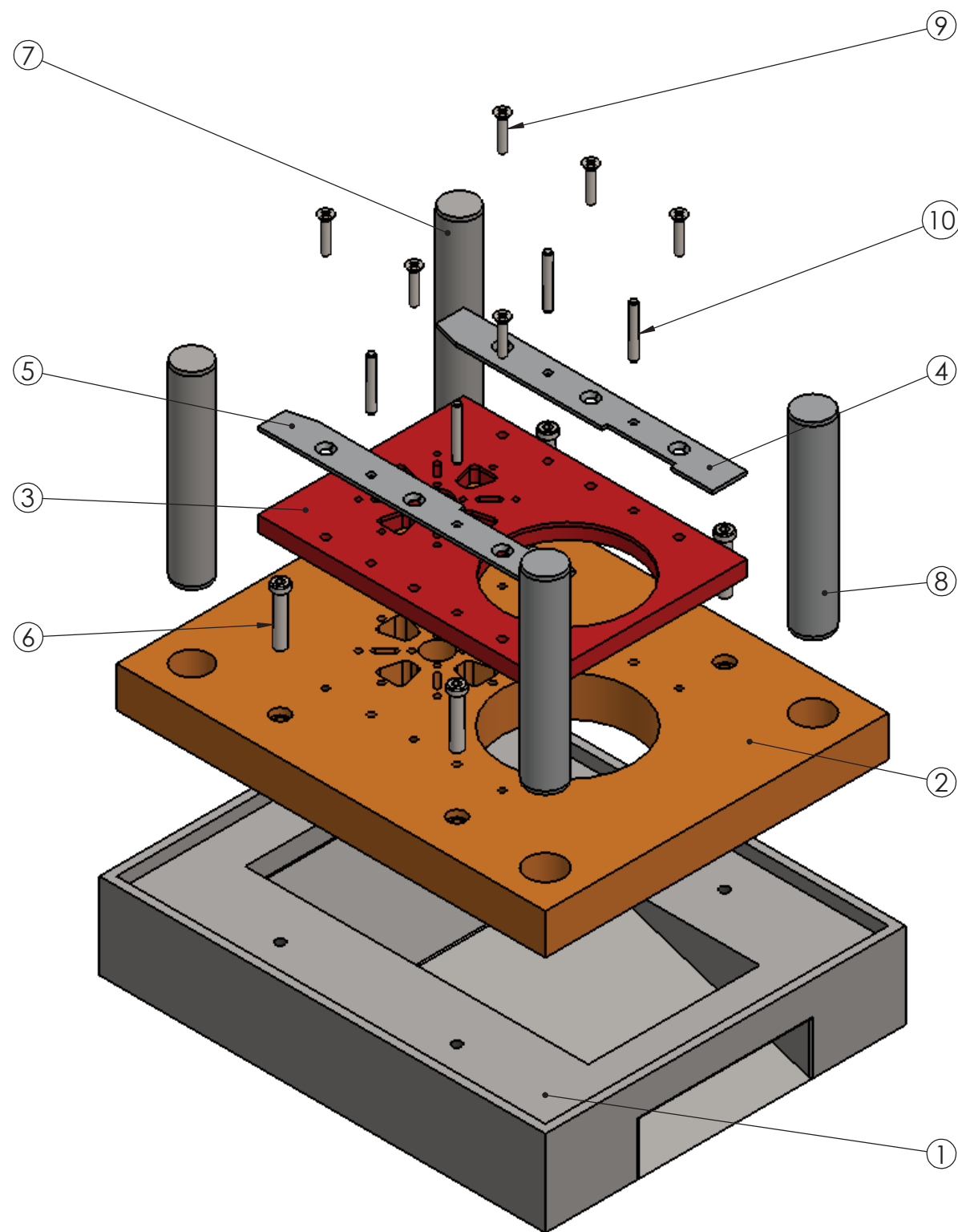


TABLA DE COMPONENTES

Nº DE ELEMENTO	NOMBRE PIEZA	NÚMERO PLANO	MATERIAL	CANTIDAD
1	Contenedor	7	F-1120	1
2	Placa base inferior	8	F-1120	1
3	Placa matriz	9	F-5220 (T+R)	1
4	Guía de banda superior	10	F-5220 (T+R)	1
5	Guía de banda inferior	11	F-5220 (T+R)	1
6	Tornillo DIN 7984 M12 x 60	-	Acero 8.8	4
7	Columna lisa Modelo F Ø40x220	-	Acero 1.7264	2
8	Columna lisa Modelo F Ø42x220	-	Acero 1.7264	2
9	Tornillo DIN 965 M8 x 40	-	Acero 8.8	6
10	Pasador DIN 6325 8 x 60	-	Acero endurecido	4



Universidad Pública
de Navarra
Nafarroako
Unibertsitate Publikoa

E.T.S.I.I.T.

INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS
INDUSTRIALES (MECÁNICA)

DEPARTAMENTO:
**DEPARTAMENTO DE
PROYECTOS E INGENIRÍA RURAL**

PROYECTO:

**DISEÑO DE UN TROQUEL PROGRESIVO PARA LA
FABRICACIÓN DE DISCOS DE FRENO DE BICICLETA**

PROYECTISTA:

OLCOZ ALONSO, ALVARO

FIRMA:

PLANO:

MONTAJE SUBCONJUNTO INFERIOR

MATERIAL:

-

Nº PLANO:

2

ESCALA:

1:5

FECHA:

06/2016

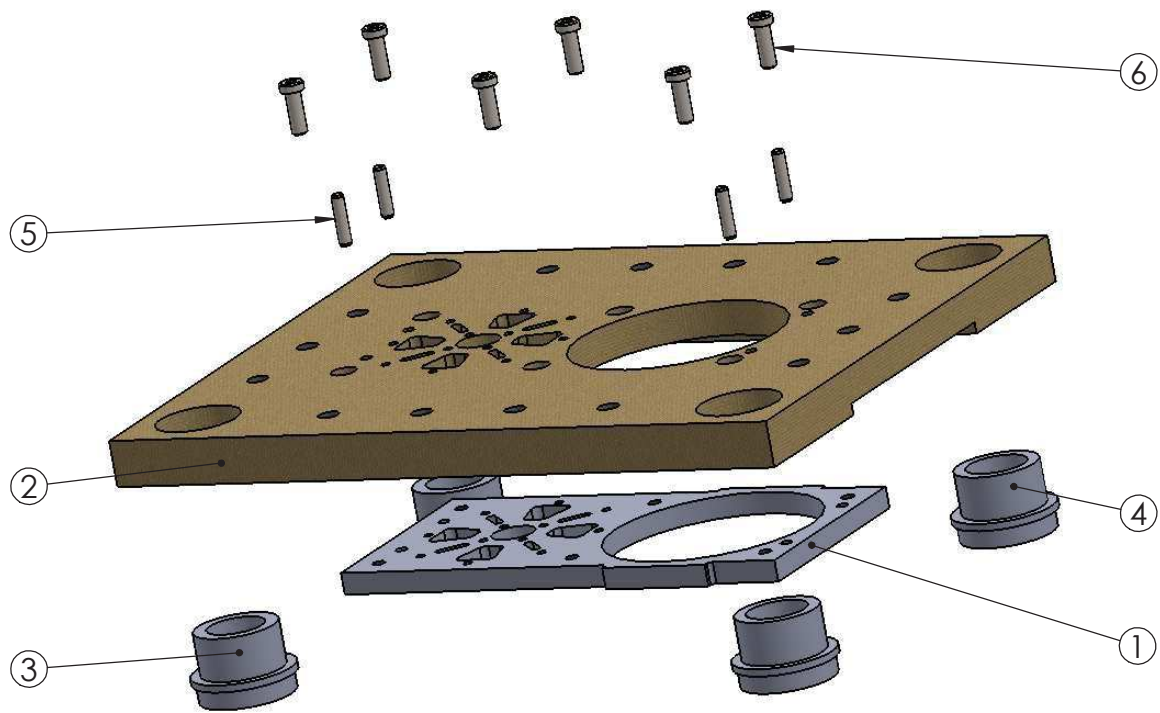


TABLA DE COMPONENTES

Nº DE ELEMENTO	NOMBRE PIEZA	NÚMERO PLANO	MATERIAL	CANTIDAD
1	Placa pisadora	12	F-1140	1
2	Placa guía punzones	13	F-1120	1
3	Casquillo Valona Corta Modelo P Ø40x48	-	Acero 1.7264	2
4	Casquillo Valona Corta Modelo P Ø42x48	-	Acero 1.7264	2
5	Pasador DIN 6325 Ø8x36	-	Acero endurecido	4
6	Tornillo DIN 7984 M10x30	-	Acero 8.8	6



Universidad Pública
de Navarra
Nafarroako
Unibertsitate Publikoa

E.T.S.I.I.T.

INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS
INDUSTRIALES (MECÁNICA)

DEPARTAMENTO:
**DEPARTAMENTO DE
PROYECTOS E INGENIERÍA RURAL**

PROYECTO:

**DISEÑO DE UN TROQUEL PROGRESIVO PARA LA
FABRICACION DE DISCOS DE FRENO DE BICICLETA**

PROYECTISTA:

OLCOZ ALONSO, ALVARO

FIRMA:

PLANO:

MONTAJE SUBCONJUNTO CENTRAL

MATERIAL:

-

Nº PLANO:

3

ESCALA:

1:5

FECHA:

06/2016

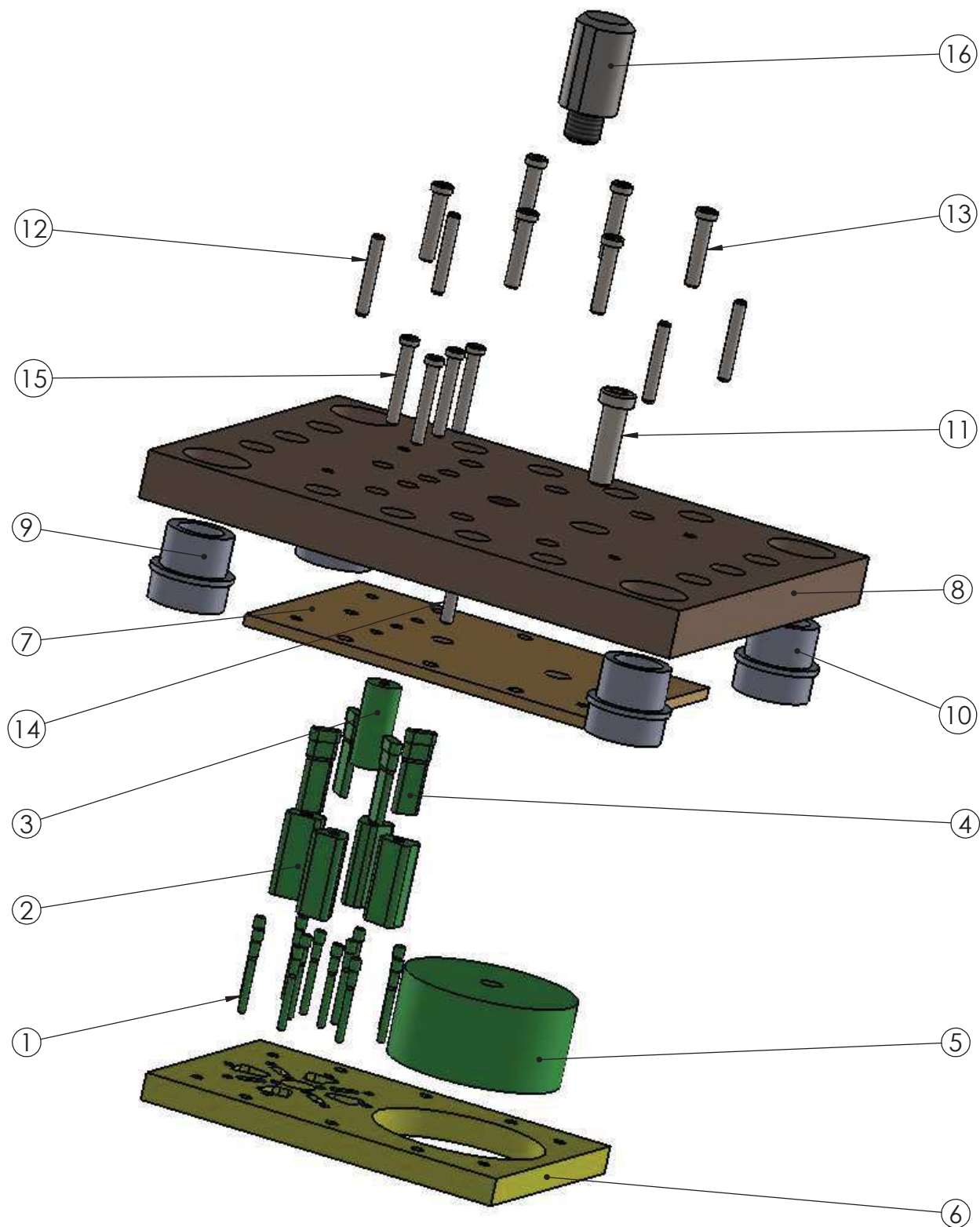


TABLA DE COMPONENTES

Nº DE ELEMENTO	NOMBRE PIEZA	NÚMERO PLANO	MATERIAL	CANTIDAD
1	Punzón tipo A	14	F-5220 (T+R)	12
2	Punzón tipo B	15	F-5220 (T+R)	4
3	Punzón tipo C	16	F-5220 (T+R)	1
4	Punzón tipo D	17	F-5220 (T+R)	4
5	Punzón tipo E	18	F-5220 (T+R)	1
6	Placa porta punzones	19	F-1140	1
7	Placa sufridera	20	F-5220 (T+R)	1
8	Placa superior	21	F-1120	1
9	Casquillo Valona Modelo M Ø40x65	-	Acero 1.7264	2
10	Casquillo Valona Modelo M Ø42x65	-	Acero 1.7264	2
11	Tornillo DIN 7984 M20 x 70	-	Acero 8.8	1
12	Pasador DIN 6325 10 x 70	-	Acero endurecido	4
13	Tornillo DIN 7984 M12 x 60	-	Acero 8.8	6
14	Tornillo DIN 7984 M10 x 30	-	Acero 8.8	1
15	Tornillo DIN 7984 M10 x 70	-	Acero 8.8	4
16	Vástago DIN 9859 M30x108	-	Acero aleado	1



Universidad Pública
de Navarra
Nafarroako
Unibertsitate Publikoa

E.T.S.I.I.T.

INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS
INDUSTRIALES (MECÁNICA)

DEPARTAMENTO:
**DEPARTAMENTO DE
PROYECTOS E INGENIRÍA RURAL**

PROYECTO:

**DISEÑO DE UN TROQUEL PROGRESIVO PARA LA
FABRICACIÓN DE DISCOS DE FRENO DE BICICLETA**

PROYECTISTA:

OLCOZ ALONSO, ALVARO

FIRMA:

PLANO:

MONTAJE SUBCONJUNTO SUPERIOR

MATERIAL:

-

Nº PLANO:

4

ESCALA:

1:5

FECHA:

06/2016

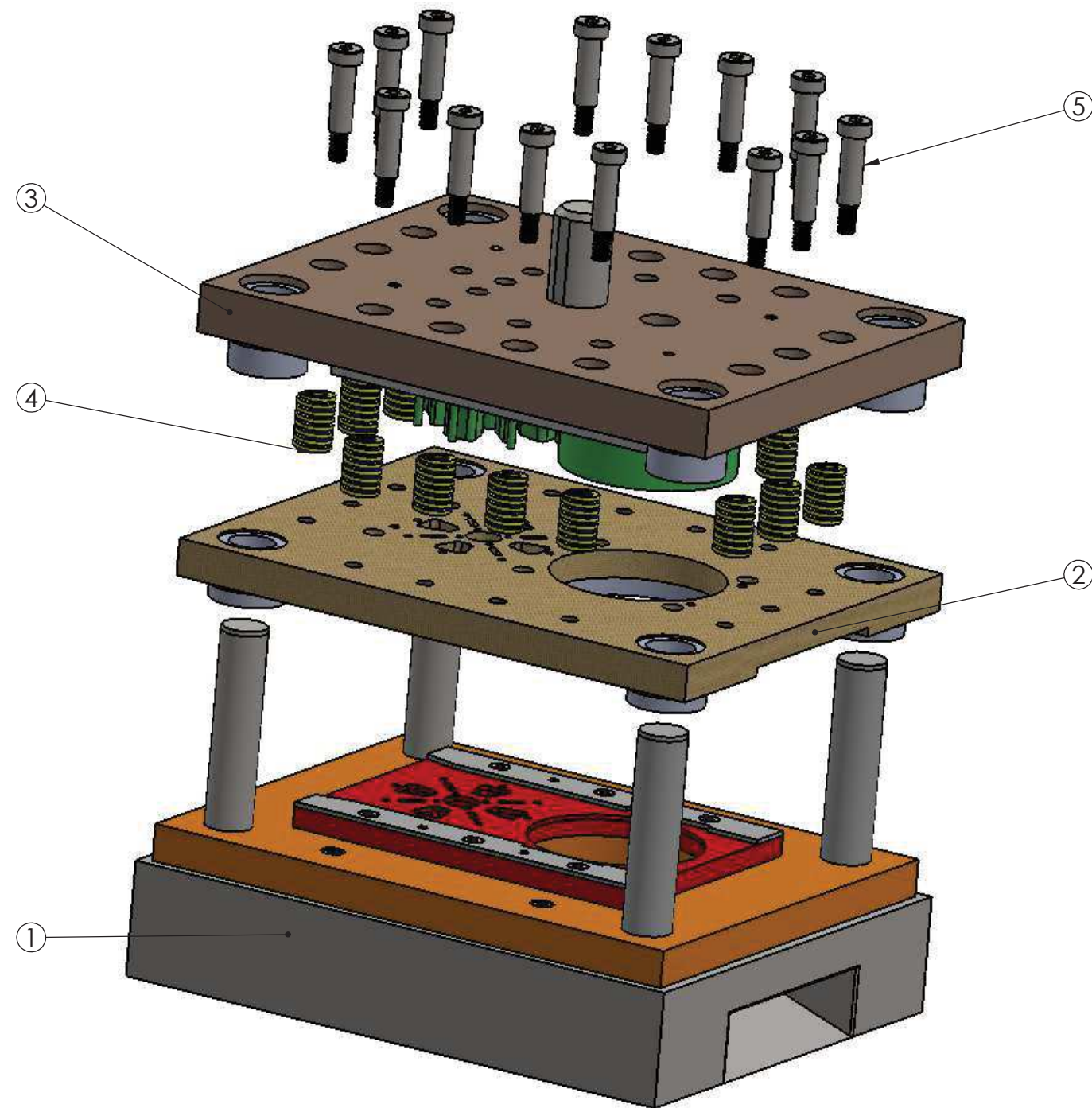


TABLA DE COMPONENTES

Nº DE ELEMENTO	NOMBRE PIEZA	NÚMERO PLANO	MATERIAL	CANTIDAD
1	Subconjunto inferior	2	-	1
2	Subconjunto central	3	-	1
3	Subconjunto superior	4	-	1
4	Muelle DIN 17225 A38x50	-	Acero aleado	14
5	Tope guía Modelo TGM M16x60	-	Acero aleado	14



Universidad Pública
de Navarra
Nafarroako
Unibertsitate Publikoa

E.T.S.I.I.T.

INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS
INDUSTRIALES (MECÁNICA)

DEPARTAMENTO:
**DEPARTAMENTO DE
PROYECTOS E INGENIRÍA RURAL**

PROYECTO:

**DISEÑO DE UN TROQUEL PROGRESIVO PARA LA
FABRICACIÓN DE DISCOS DE FRENO DE BICICLETA**

PROYECTISTA:

OLCOZ ALONSO, ALVARO

FIRMA:

PLANO:

MONTAJE FINAL TROQUEL

MATERIAL:

-

Nº PLANO:

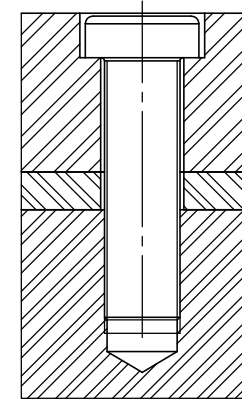
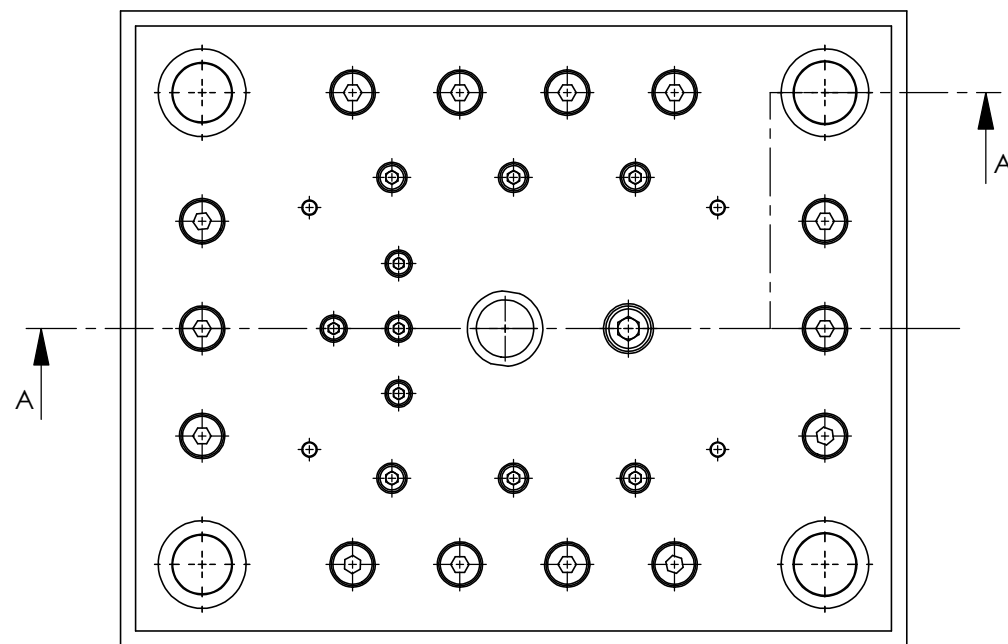
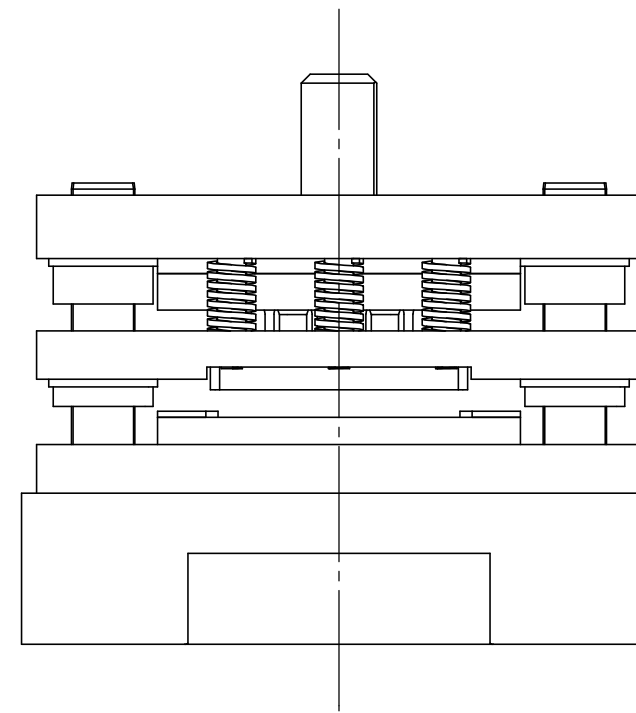
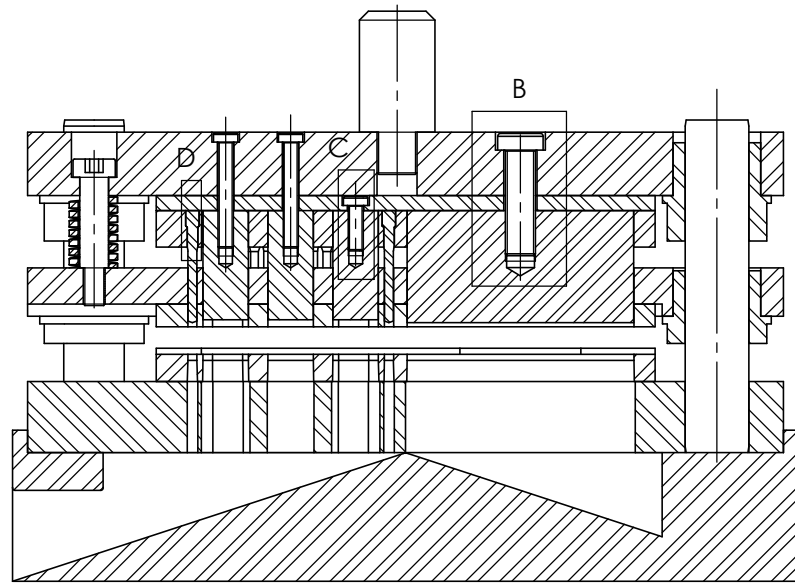
5

ESCALA:

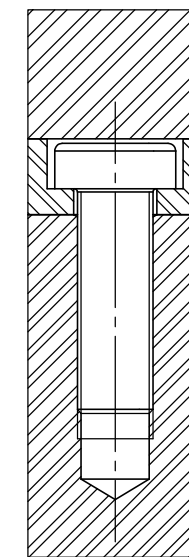
1:5

FECHA:

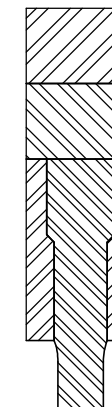
06/2016




DETALLE B
ESCALA 1 : 2
(Punzón atornillado a placa superior)

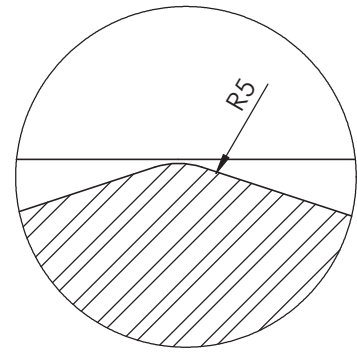


DETALLE C
ESCALA 1 : 1
(Punzón atornillado a placa sufridera)

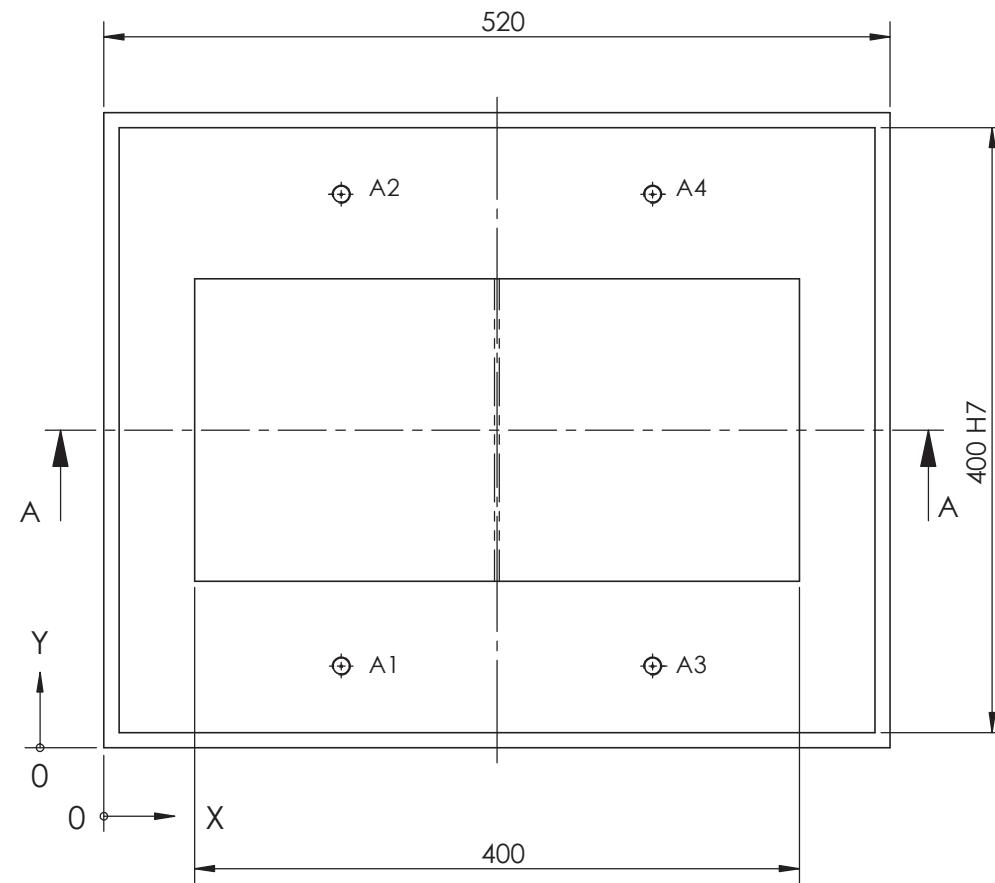
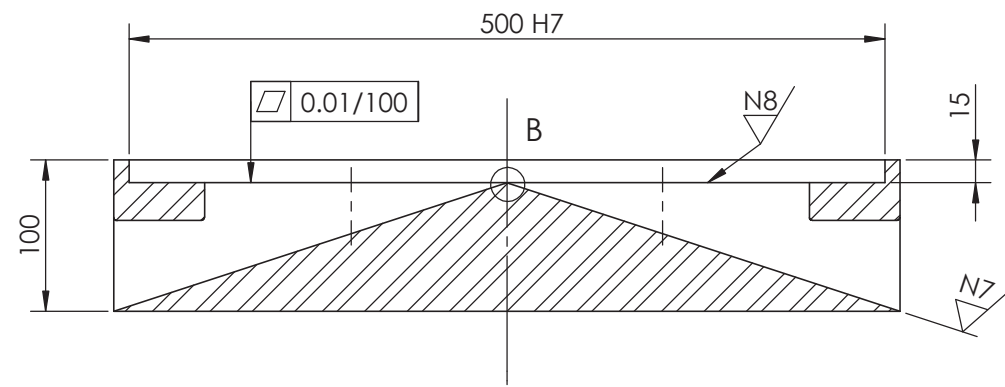


DETALLE D
ESCALA 1 : 1
(Punzón alojado con cabeza mecanizada)

 Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa	E.T.S.I.I.T. INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES (MECÁNICA)	DEPARTAMENTO: DEPARTAMENTO DE PROYECTOS E INGENIRÍA RURAL		
	PROYECTO: DISEÑO DE UN TROQUEL PROGRESIVO PARA LA FABRICACIÓN DE DISCOS DE FRENO DE BICICLETA		PROYECTISTA: OLCOZ ALONSO, ALVARO	
PLANO: DETALLES CONJUNTO TROQUEL	MATERIAL: -	Nº PLANO: 6	ESCALA: 1:5	FECHA: 06/2016
FIRMA:				



DETALLE B
ESCALA 2 : 1

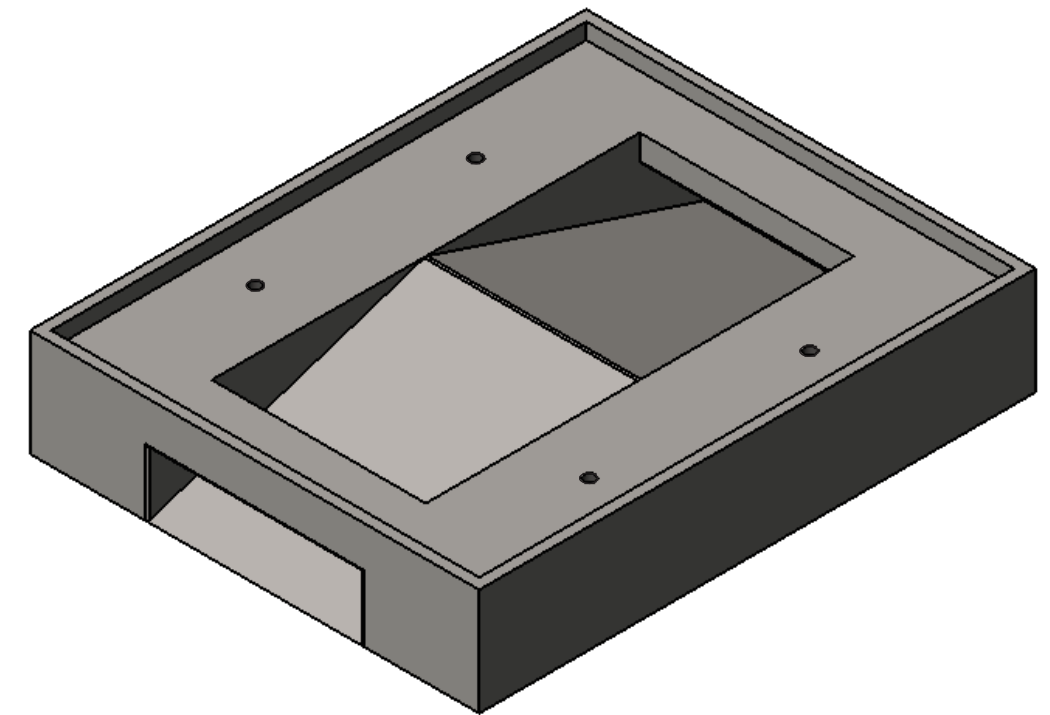
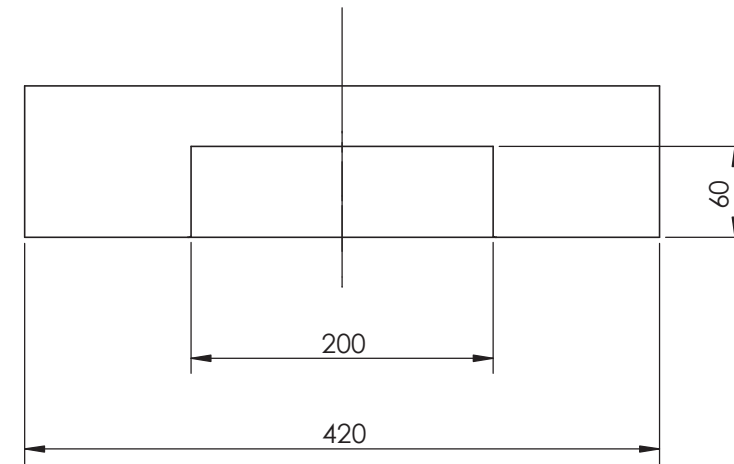



REDONDEOS SIN ACOTAR R= 2 mm

TABLA DE TALADROS

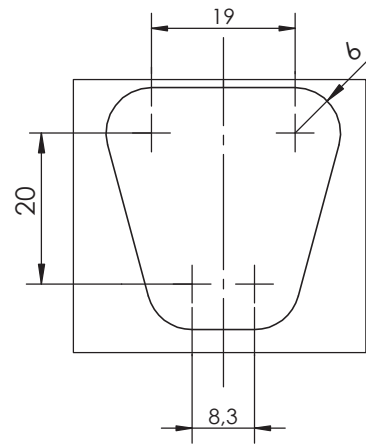
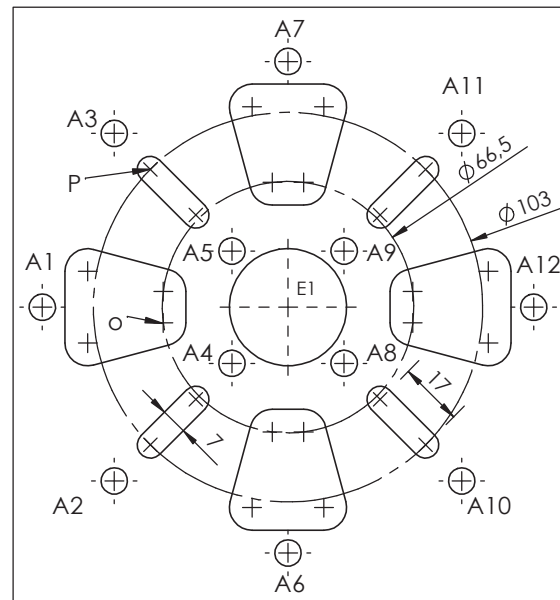
RÓTULO	UBIC X	UBIC Y	TAMAÑO
A1	157	54	\varnothing 10,80 ∇ 31,25 M12x1.25 ∇ 25
A2	157	366	\varnothing 10,80 ∇ 31,25 M12x1.25 ∇ 25
A3	363	54	\varnothing 10,80 ∇ 31,25 M12x1.25 ∇ 25
A4	363	366	\varnothing 10,80 ∇ 31,25 M12x1.25 ∇ 25

N10/ (N8/ , N7/)

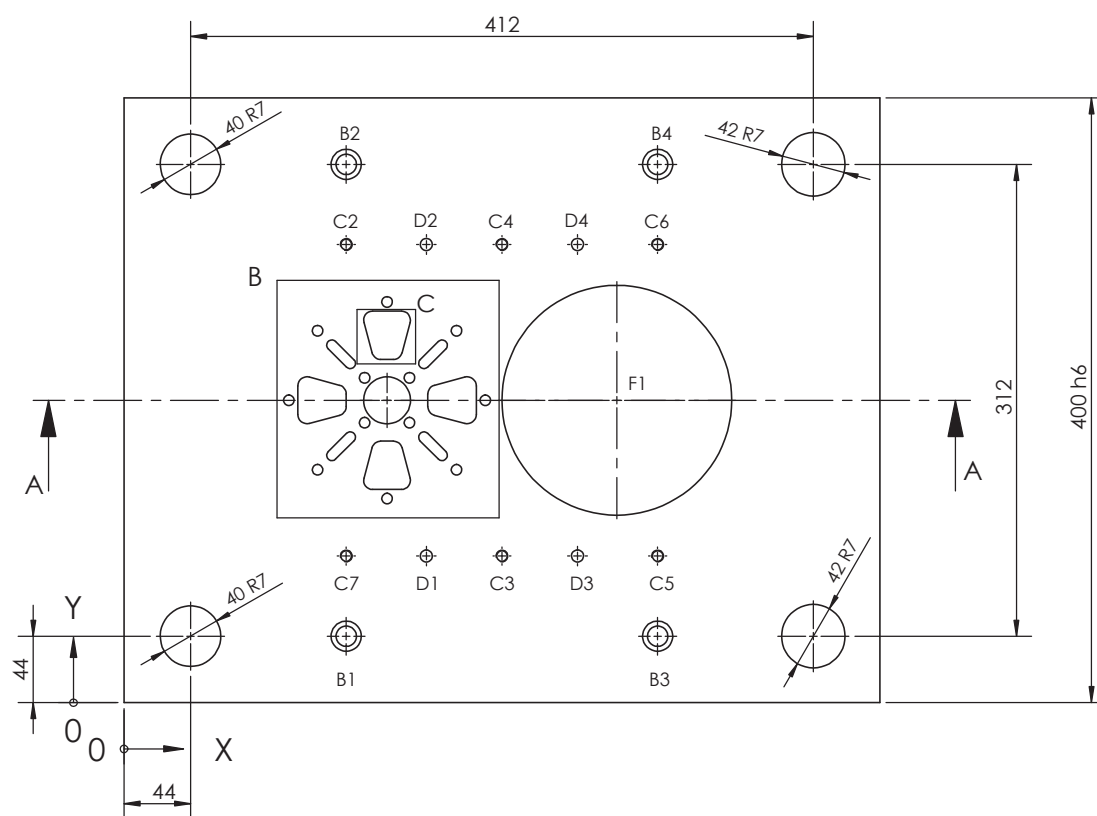
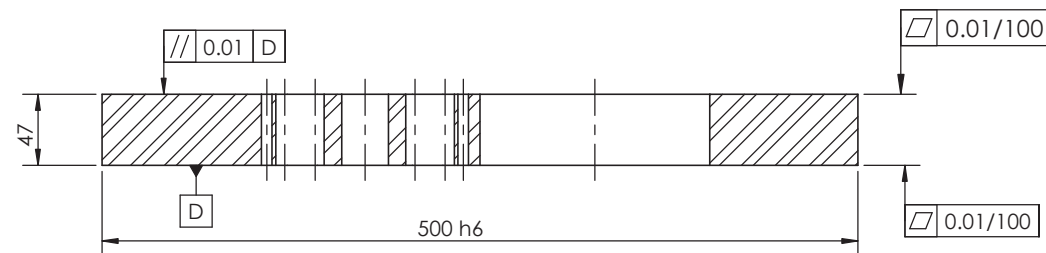


 Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa	E.T.S.I.I.T. INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES (MECÁNICA)	DEPARTAMENTO: DEPARTAMENTO DE PROYECTOS E INGENIRÍA RURAL			
	PROYECTO: DISEÑO DE UN TROQUEL PROGRESIVO PARA LA FABRICACIÓN DE DISCOS DE FRENO DE BICICLETA		PROYECTISTA: OLCOZ ALONSO, ALVARO		
PLANO: CONTENEDOR		MATERIAL: F-1120	Nº PLANO: 7	ESCALA: 1:5	FECHA: 06/2016
		FIRMA:			

DETALLE B (ESCALA 1:2)



DETALLE C
ESCALA 1 : 1



Los agujeros para las columnas guía (rugosidad N7) vienen realizados con el portamatrices
POSICIÓN DE TRAPECIOS Y RANURAS DEFINIDA MEDIANTE SIMETRIA POLAR EN TORNO A E1

TABLA DE COORDENADAS

N8 / (N7)

RÓTULO	UBIC X	UBIC Y
O	141	159,9
P	137,6	236,4

TABLA DE TALADROS

RÓTULO	UBIC X	UBIC Y	TAMAÑO
A1	109	200	Ø7 POR TODO
A2	128,04	154,04	
A3	128,04	245,96	
A4	159,15	185,15	
A5	159,15	214,85	
A6	174	135	
A7	174	265	
A8	188,85	185,15	
A9	188,85	214,85	
A10	219,96	154,04	
A11	219,96	245,96	
A12	239	200	
B1	147	44	
B2	147	356	
B3	353	44	
B4	353	356	Ø 7 ▽ 27 M8x1.0 - 6H ▽ 22
C7	147	97	
C2	147	303	
C3	250	97	
C4	250	303	
C5	353	97	
C6	353	303	
D1	200	97	Ø 8 H7 POR TODO
D2	200	303	
D3	300	97	
D4	300	303	
E1	174	200	Ø 31 POR TODO
F1	326	200	Ø 152 POR TODO



Universidad Pública
de Navarra
Nafarroako
Unibertsitate Publikoa

E.T.S.I.I.T.

INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS
INDUSTRIALES (MECÁNICA)

DEPARTAMENTO:
**DEPARTAMENTO DE
PROYECTOS E INGENIRÍA RURAL**

PROYECTO:

**DISEÑO DE UN TROQUEL PROGRESIVO PARA LA
FABRICACIÓN DE DISCOS DE FRENO DE BICICLETA**

PROYECTISTA:
OLCOZ ALONSO, ALVARO

FIRMA:

PLANO:

PLACA BASE INFERIOR

MATERIAL:

F-1120

Nº PLANO:

8

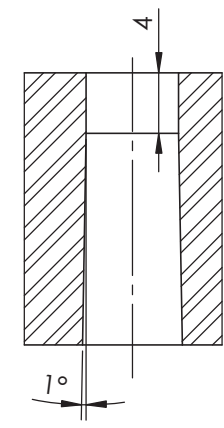
ESCALA:

1:5

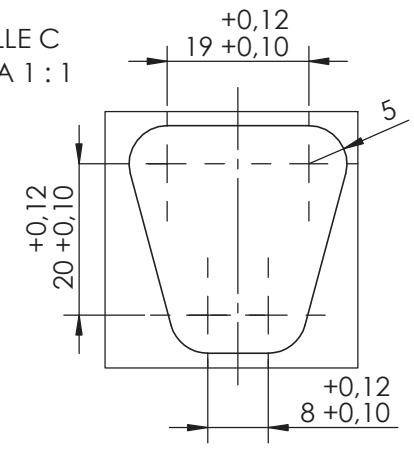
FECHA:

06/2016

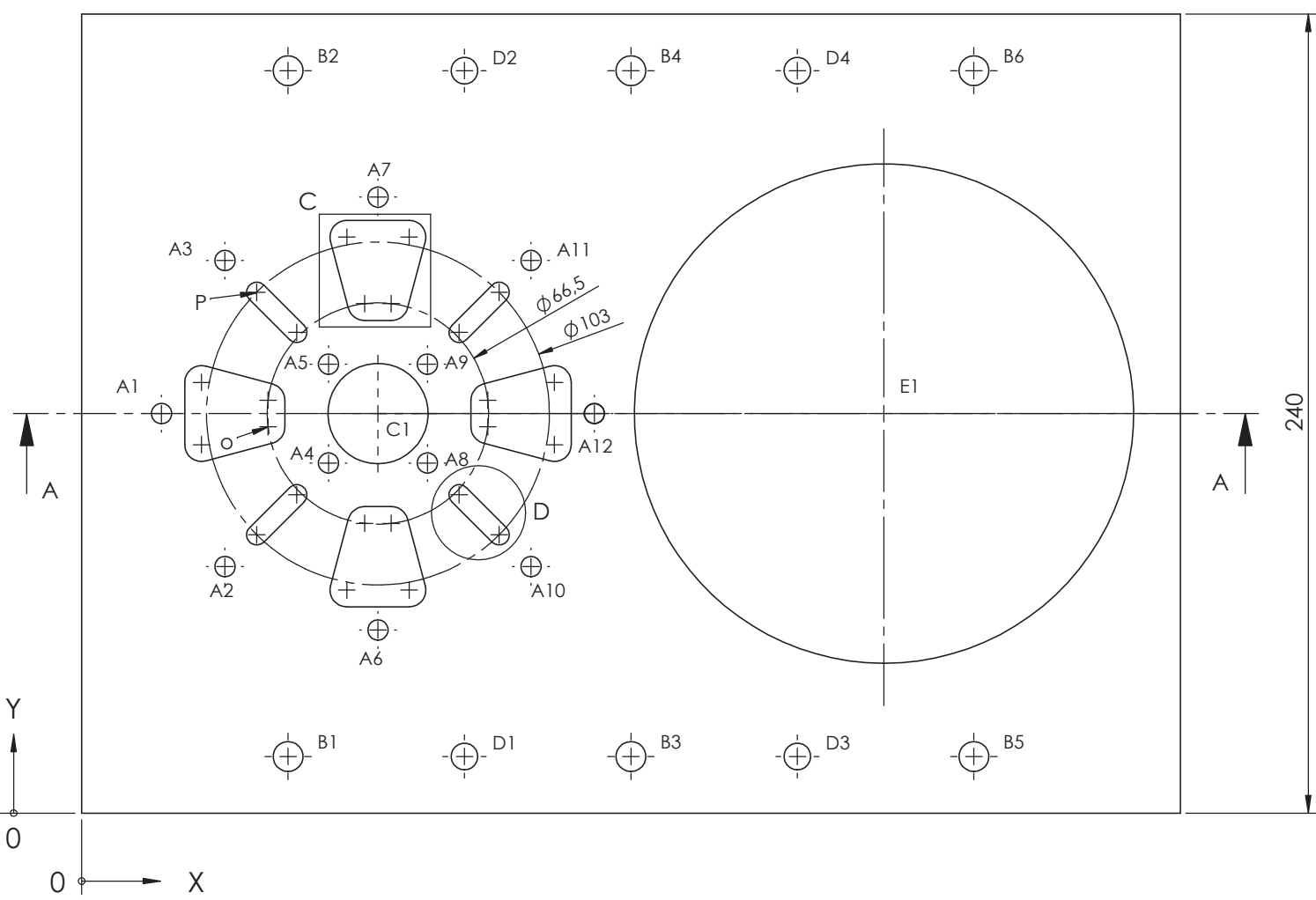
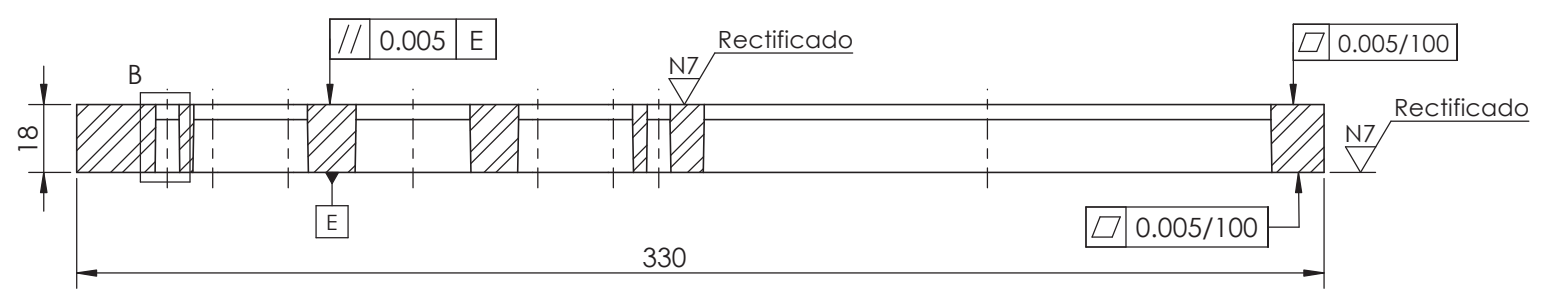
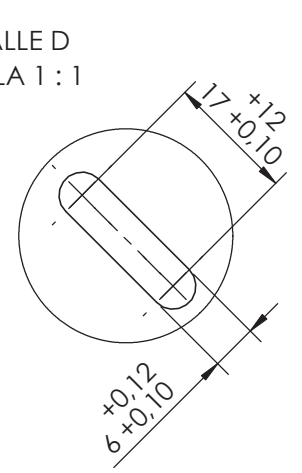
DETALLE B
ESCALA 2:1



DETALLE C
ESCALA 1:1



DETALLE D
ESCALA 1:1



POSICIÓN DE TRAPECIOS Y RANURAS DEFINIDA MEDIANTE SIMETRÍA POLAR EN TORNO A C1
 TODOS LOS PERÍMETROS DE CORTE TIENEN UN ANGULO DE SALIDA= 1° A PARTIR DE 4mm DEL PLANO SUPERIOR
 ACABADO SUPERFICIAL N6 EN SUPERFICIES DE CORTE

TABLA DE COORDENADAS

N9 / (N7 / , N6 /)

RÓTULO	UBIC X	UBIC Y
O	56	116
P	52,6	156,4

TABLA DE TALADROS

RÓTULO	UBIC X	UBIC Y	TAMAÑO
A1	24	120	∅ 6 +0,12 ∇ 4 VER DETALLE F
A2	43,04	74,04	
A3	43,04	165,96	
A4	74,15	105,15	
A5	74,15	134,85	
A6	89	55	
A7	89	185	
A8	103,85	105,15	
A9	103,85	134,85	
A10	134,96	74,04	
A11	134,96	165,96	
A12	154	120	
B1	62	17	∅ 9 POR TODO
B2	62	223	
B3	165	17	
B4	165	223	
B5	268	17	
B6	268	223	
C1	89	120	∅ 30 +0,12 ∇ 4
D1	115	17	∅ 8 H7 POR TODO
D2	115	223	
D3	215	17	
D4	215	223	
E1	241	120	∅ 150 -0,01 ∇ 4

Universidad Pública de Navarra
 Nafarroako Unibertsitate Publikoa

E.T.S.I.I.T.
 INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES (MECÁNICA)

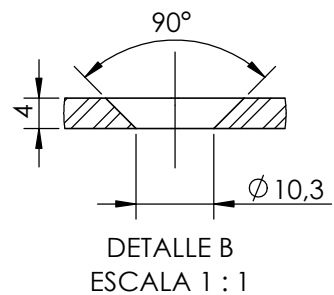
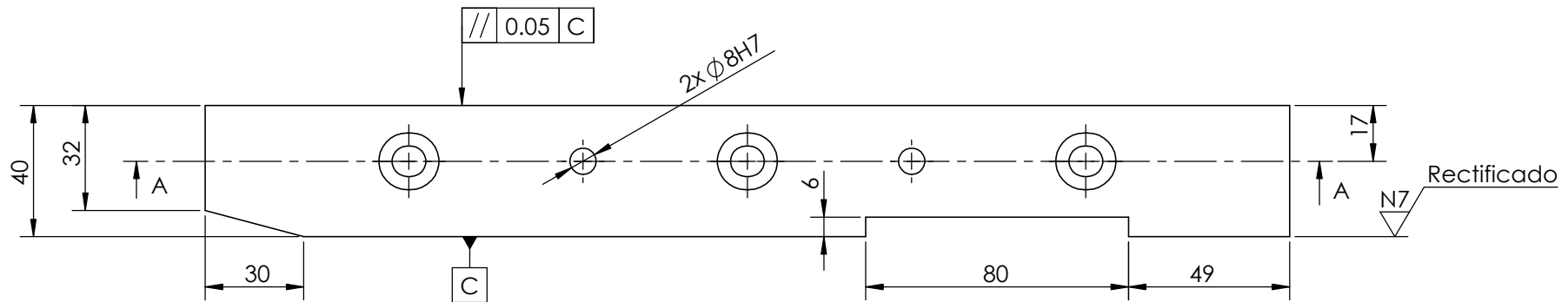
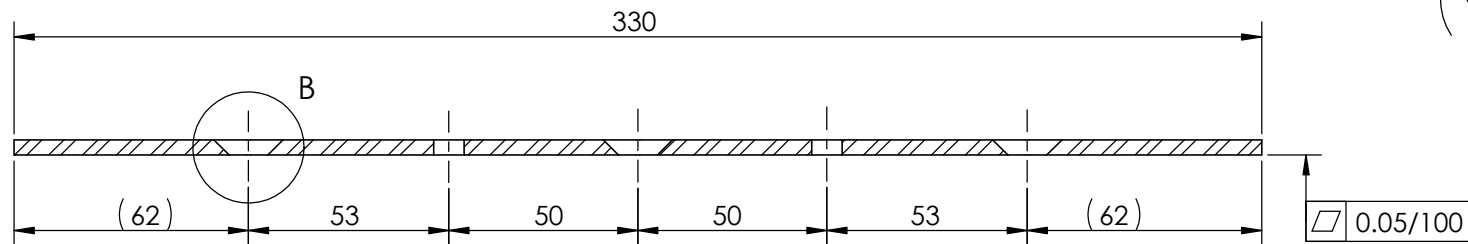
DEPARTAMENTO:
DEPARTAMENTO DE PROYECTOS E INGENIERÍA RURAL

PROYECTO:
DISEÑO DE UN TROQUEL PROGRESIVO PARA LA FABRICACIÓN DE DISCOS DE FRENO DE BICICLETA

PROYECTISTA:
OLCOZ ALONSO, ALVARO

PLANO: PLACA MATRIZ	MATERIAL: F-5220 (T+R)	Nº PLANO: 9	ESCALA: 1:2	FECHA: 06/2016
-------------------------------	----------------------------------	-----------------------	-----------------------	--------------------------

(N9 / N7)



Universidad Pública
de Navarra
Nafarroako
Unibertsitate Publikoa

E.T.S.I.I.T.

INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS
INDUSTRIALES (MECÁNICA)

DEPARTAMENTO:
**DEPARTAMENTO DE
PROYECTOS E INGENIRÍA RURAL**

PROYECTO:

**DISEÑO DE UN TROQUEL PROGRESIVO PARA LA
FABRICACION DE DISCOS DE FRENO DE BICICLETA**

PROYECTISTA:
OLCOZ ALONSO, ALVARO

FIRMA:

PLANO:

GUÍA DE BANDA SUPERIOR

MATERIAL:

F-5220 (T+R)

Nº PLANO:

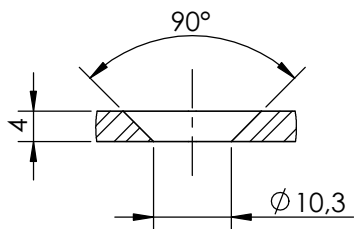
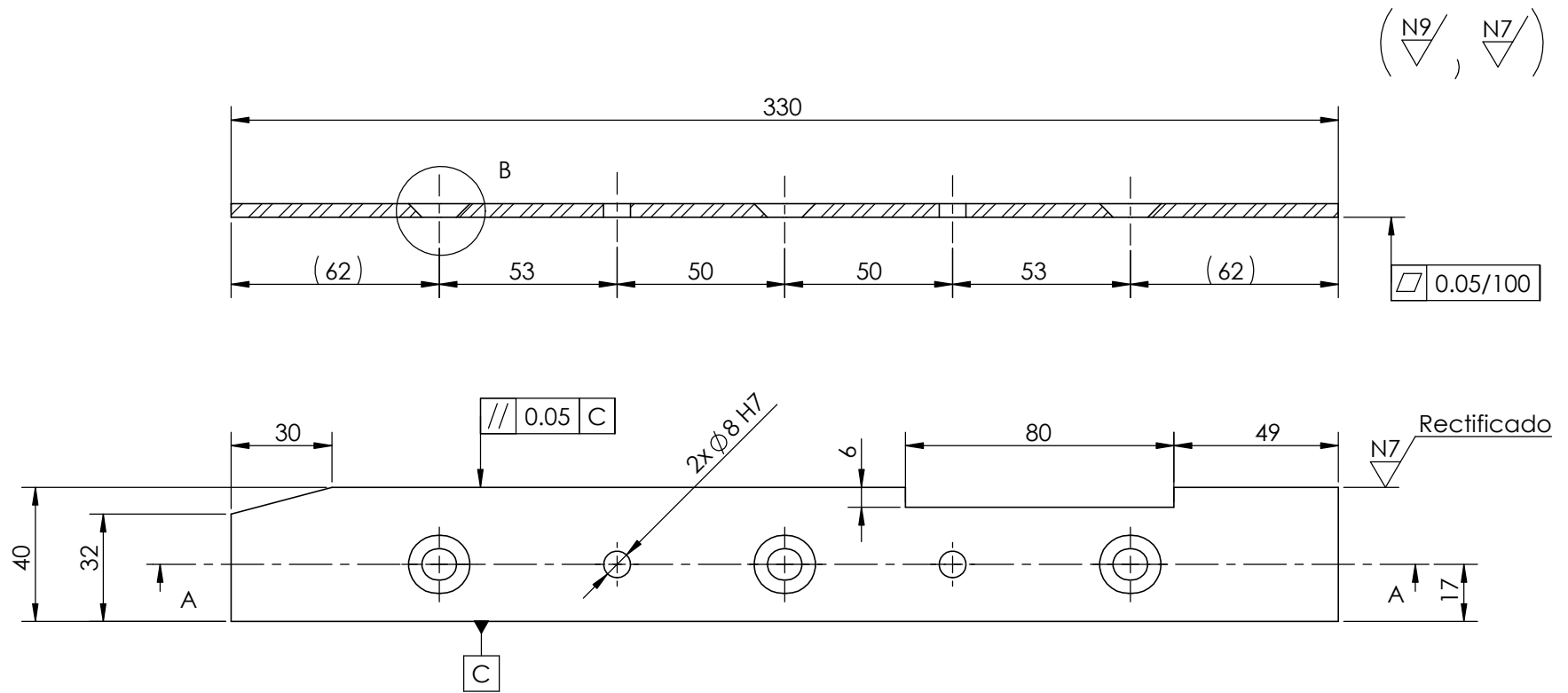
10

ESCALA:


1:2

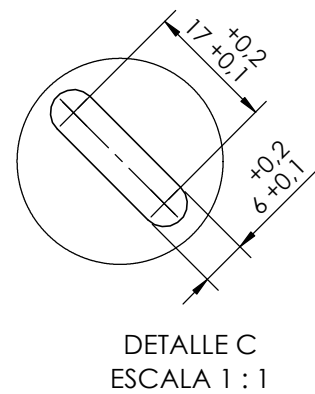
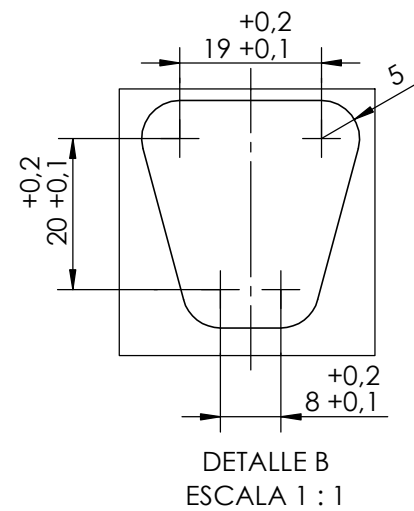
FECHA:

06/2016



DETALLE B
ESCALA 1 : 1

 <p>Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa</p>	E.T.S.I.I.T.		DEPARTAMENTO: DEPARTAMENTO DE PROYECTOS E INGENIRÍA RURAL		
	INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES (MECÁNICA)		PROYECTISTA: OLCOZ ALONSO, ALVARO		
PROYECTO: DISEÑO DE UN TROQUEL PROGRESIVO PARA LA FABRICACIÓN DE DISCOS DE FRENO DE BICICLETA			FIRMA:		
PLANO: GUÍA DE BANDA INFERIOR	MATERIAL: F-5220 (T+R)	Nº PLANO: 11	ESCALA: 1:2	FECHA: 06/2016	



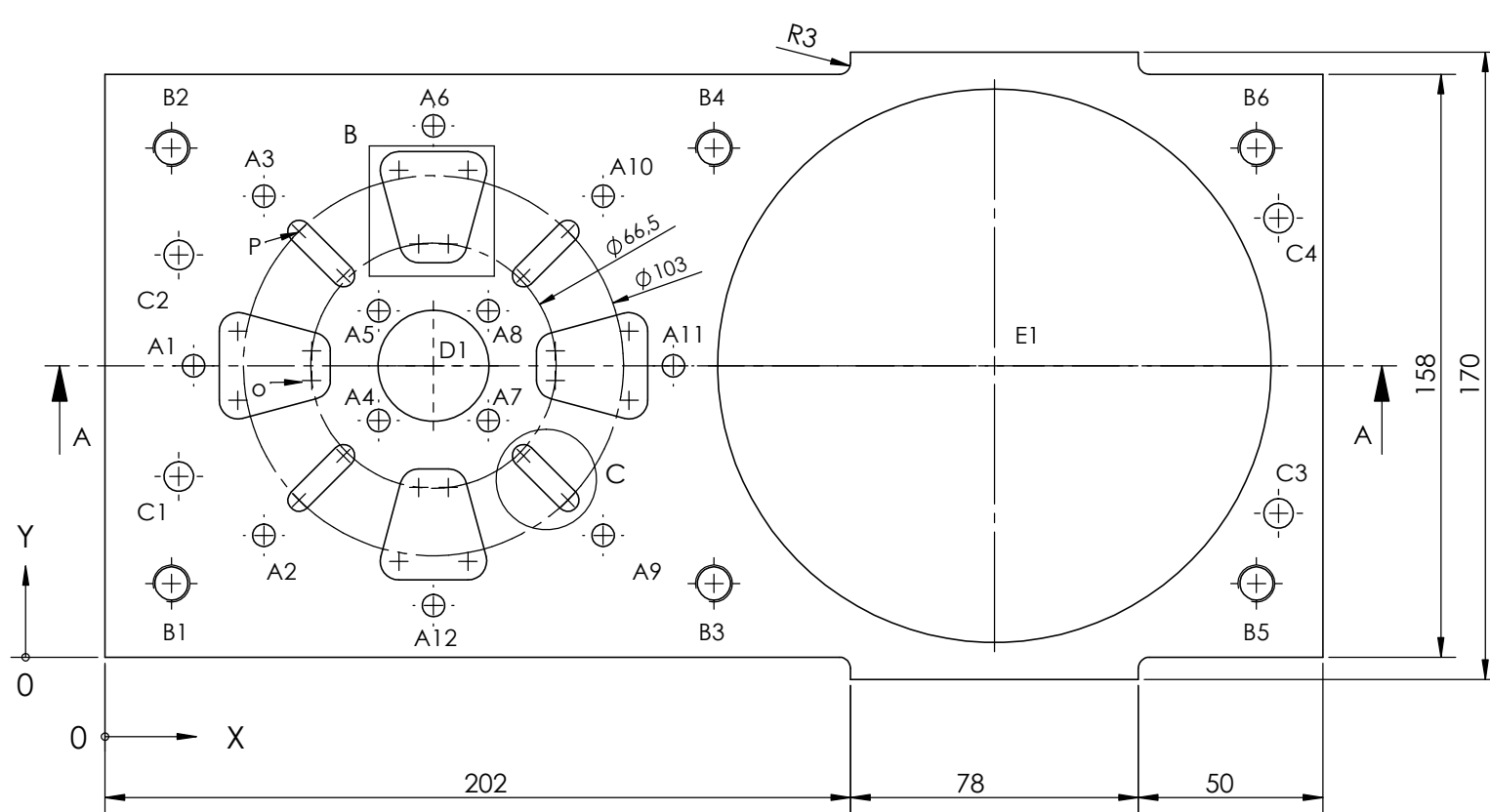
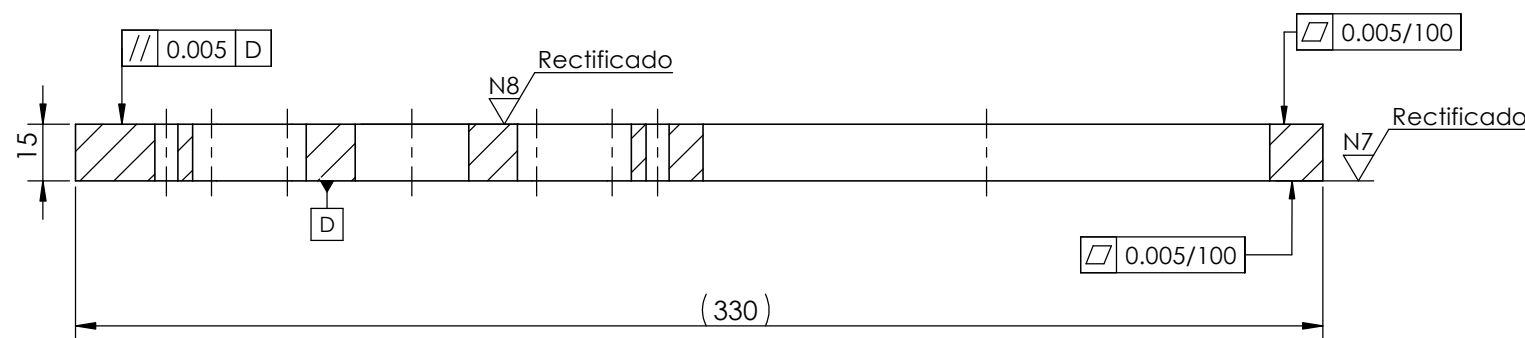
N9 / (N8 / , N7 /)

TABLA DE COORDENADAS

RÓTULO	UBIC X	UBIC Y
O	56	75
P	52,6	115,4

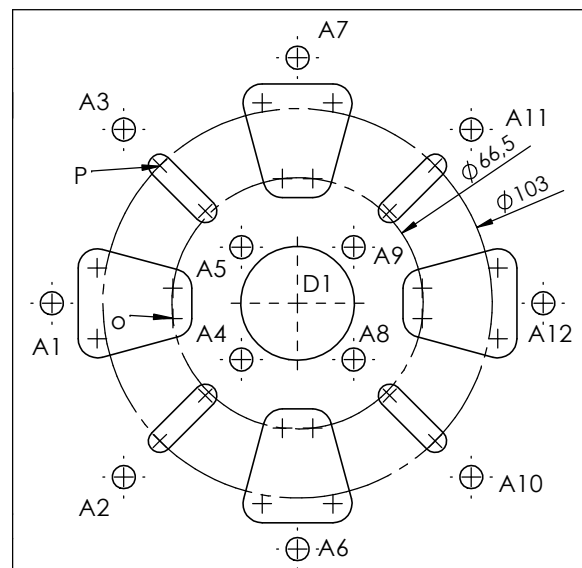
TABLA DE TALADROS

RÓTULO	UBIC X	UBIC Y	TAMAÑO
A1	24	79	+0,2 Ø 6 +0,1 POR TODO
A2	43,04	33,04	
A3	43,04	124,96	
A4	74,15	64,15	
A5	74,15	93,85	
A6	89	144	
A7	103,85	64,15	
A8	103,85	93,85	
A9	134,96	33,04	
A10	134,96	124,96	
A11	154	79	
A12	89	14	Ø 9 POR TODO M10x1.0 POR TODO
B1	18	20	
B2	18	138	
B3	165	20	
B4	165	138	
B6	312	138	
C1	20	49	Ø 8 H7 POR TODO
C2	20	109	
C3	318	39	
C4	318	119	
D1	89	79	+0,2 Ø 30 +0,1 POR TODO
E1	241	79	+0,1 Ø 150 0 POR TODO

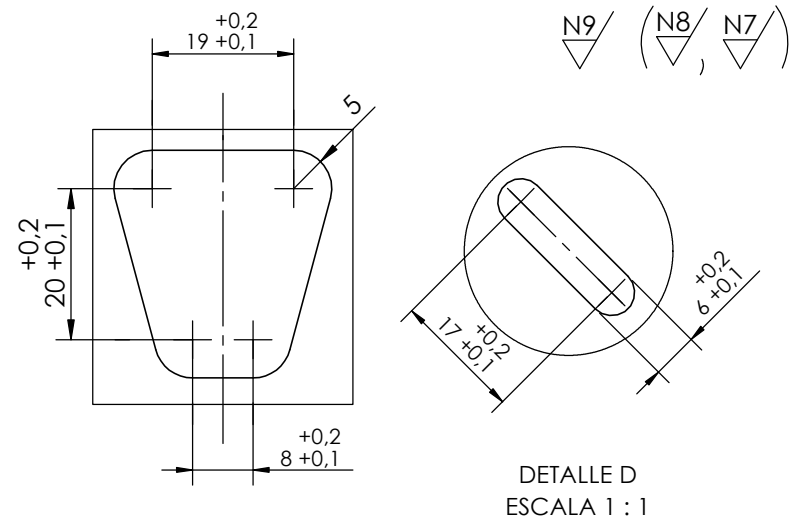


POSICIÓN DE TRAPECIOS Y RANURAS DEFINIDA MEDIANTE SIMETRIA POLAR EN TORNO A D1

 Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa	E.T.S.I.I.T. INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES (MECÁNICA)	DEPARTAMENTO: DEPARTAMENTO DE PROYECTOS E INGENIRÍA RURAL
	PROYECTO: DISEÑO DE UN TROQUEL PROGRESIVO PARA LA FABRICACIÓN DE DISCOS DE FRENO DE BICICLETA	PROYECTISTA: OLCOZ ALONSO, ALVARO
PLANO: PLACA PISADORA	MATERIAL: F-1140	Nº PLANO: 12
	ESCALA: 1:2	FECHA: 06/2016

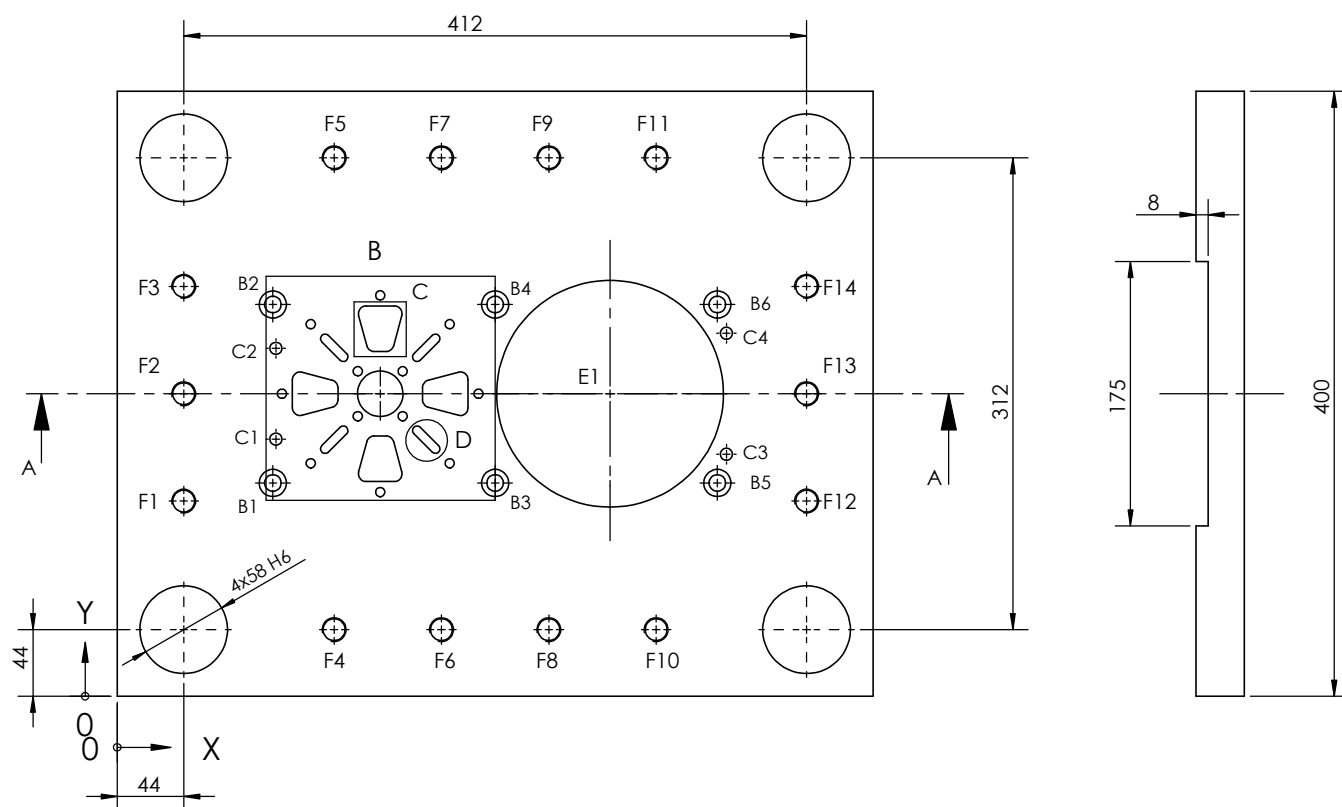
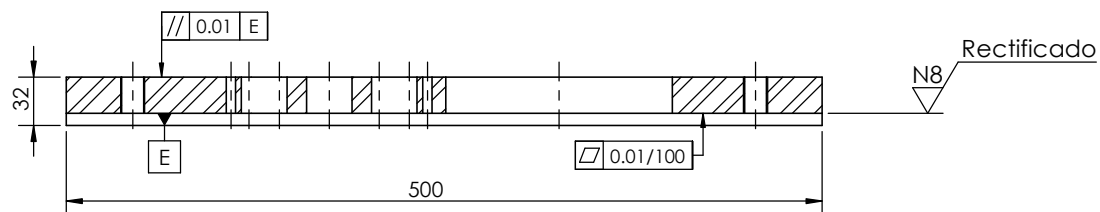


DETALLE B
ESCALA 1 : 2



DETALLE C
ESCALA 1 : 1

DETALLE D
ESCALA 1 : 1



POSICIÓN DE TRAPECIOS Y RANURAS DEFINIDA MEDIANTE SIMETRÍA POLAR EN TORNO A E1
Los agujeros para las columnas guía (rugosidad N7) vienen realizados con el portamatrices

TABLA DE COORDENADAS

RÓTULO	UBIC X	UBIC Y
O	141	159,9
P	137,6	236,4

TABLA DE TALADROS

RÓTULO	UBIC X	UBIC Y	TAMAÑO
A1	109	200	+0,2 Ø 6 +0,1 POR TODO
A2	128,04	154,04	
A3	128,04	245,96	
A4	159,15	185,15	
A5	159,15	214,85	
A6	174	135	
A7	174	265	
A8	188,85	185,15	
A9	188,85	214,85	
A10	219,96	154,04	
A11	219,96	245,96	
A12	239	200	
B1	103	141	
B2	103	259	
B3	250	141	
B4	250	259	
B5	397	141	
B6	397	259	Ø 8 POR TODO
C1	105	170	
C2	105	230	
C3	403	160	
C4	403	240	+0,2 Ø 30 +0,1 POR TODO
D1	174	200	
E1	326	200	+0,10 Ø 150 0 POR TODO
F1	44	129	Ø 14,50 POR TODO M16x1.5 POR TODO
F2	44	200	
F3	44	271	
F4	143,50	44	
F5	143,50	356	
F6	214,50	44	
F7	214,50	356	
F8	285,50	44	
F9	285,50	356	
F10	356,50	44	
F11	356,50	356	
F12	456	129	
F13	456	200	
F14	456	271	



Universidad Pública
de Navarra
Nafarroako
Unibertsitate Publikoa

E.T.S.I.I.T.

INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS
INDUSTRIALES (MECÁNICA)

DEPARTAMENTO:
**DEPARTAMENTO DE
PROYECTOS E INGENIRÍA RURAL**

PROYECTO:

**DISEÑO DE UN TROQUEL PROGRESIVO PARA LA
FABRICACIÓN DE DISCOS DE FRENO DE BICICLETA**

PROYECTISTA:
OLCOZ ALONSO, ALVARO

FIRMA:

PLANO:

PLACA GUÍA PUNZONES

MATERIAL:

F-1120

Nº PLANO:

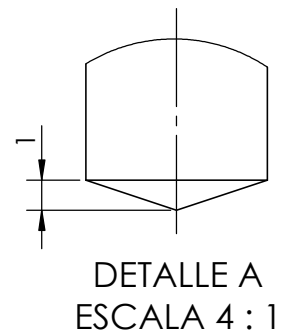
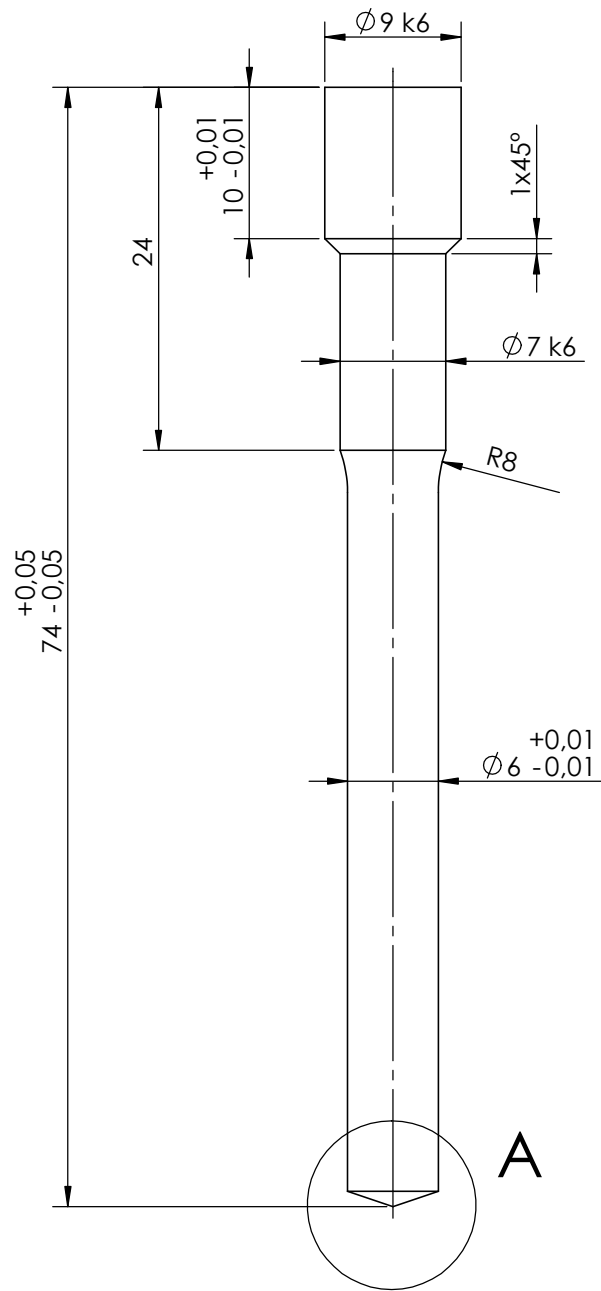
13


ESCALA:

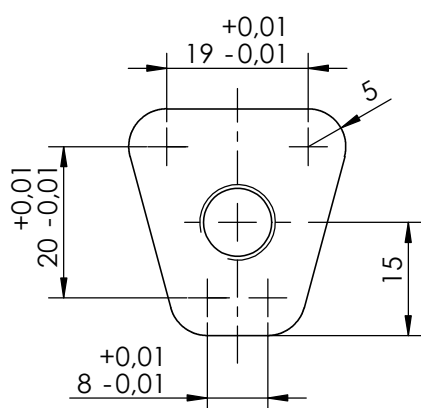
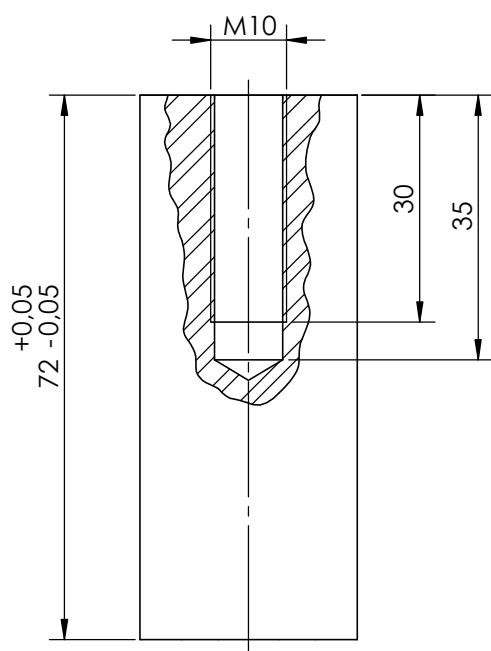
1:5


FECHA:

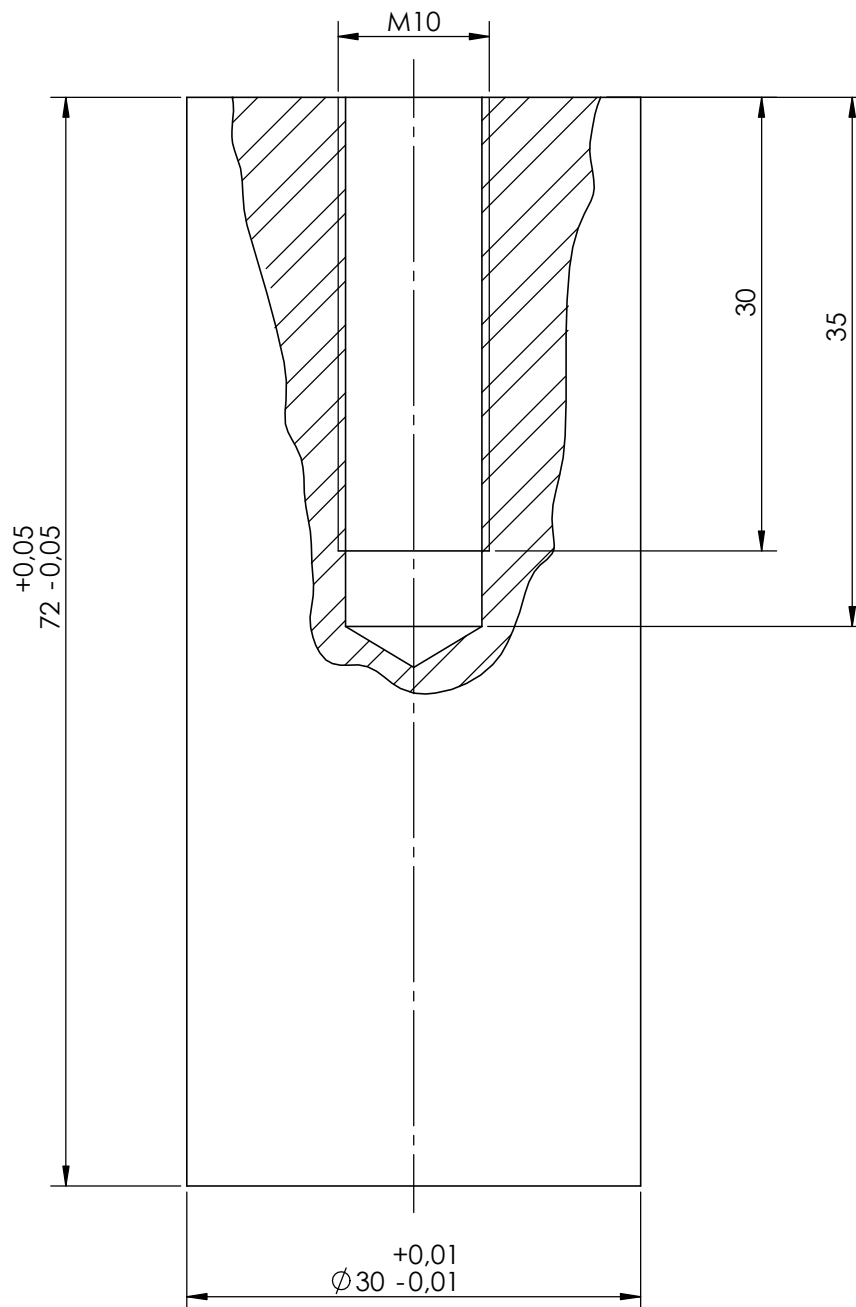
06/2016




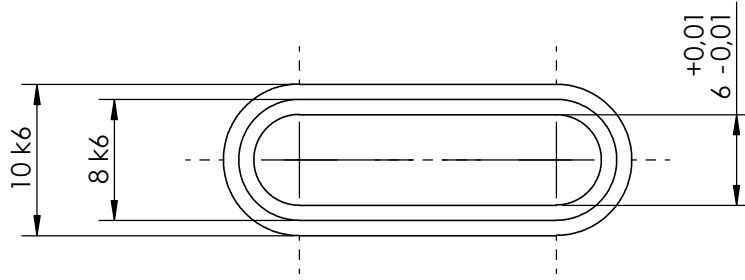
 <p>Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa</p>	<p>E.T.S.I.I.T.</p>	DEPARTAMENTO: DEPARTAMENTO DE PROYECTOS E INGENIRÍA RURAL		
	<p>INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES (MECÁNICA)</p>	PROYECTISTA: OLCOZ ALONSO, ALVARO		
PROYECTO: DISEÑO DE UN TROQUEL PROGRESIVO PARA LA FABRICACION DE DISCOS DE FRENO DE BICICLETA		FIRMA:		
PLANO: PUNZÓN TIPO A	MATERIAL: F-5220 (T+R)	Nº PLANO: 14	ESCALA: 2:1	FECHA: 06/2016



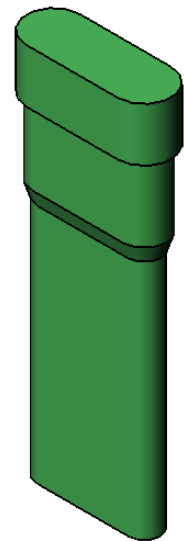
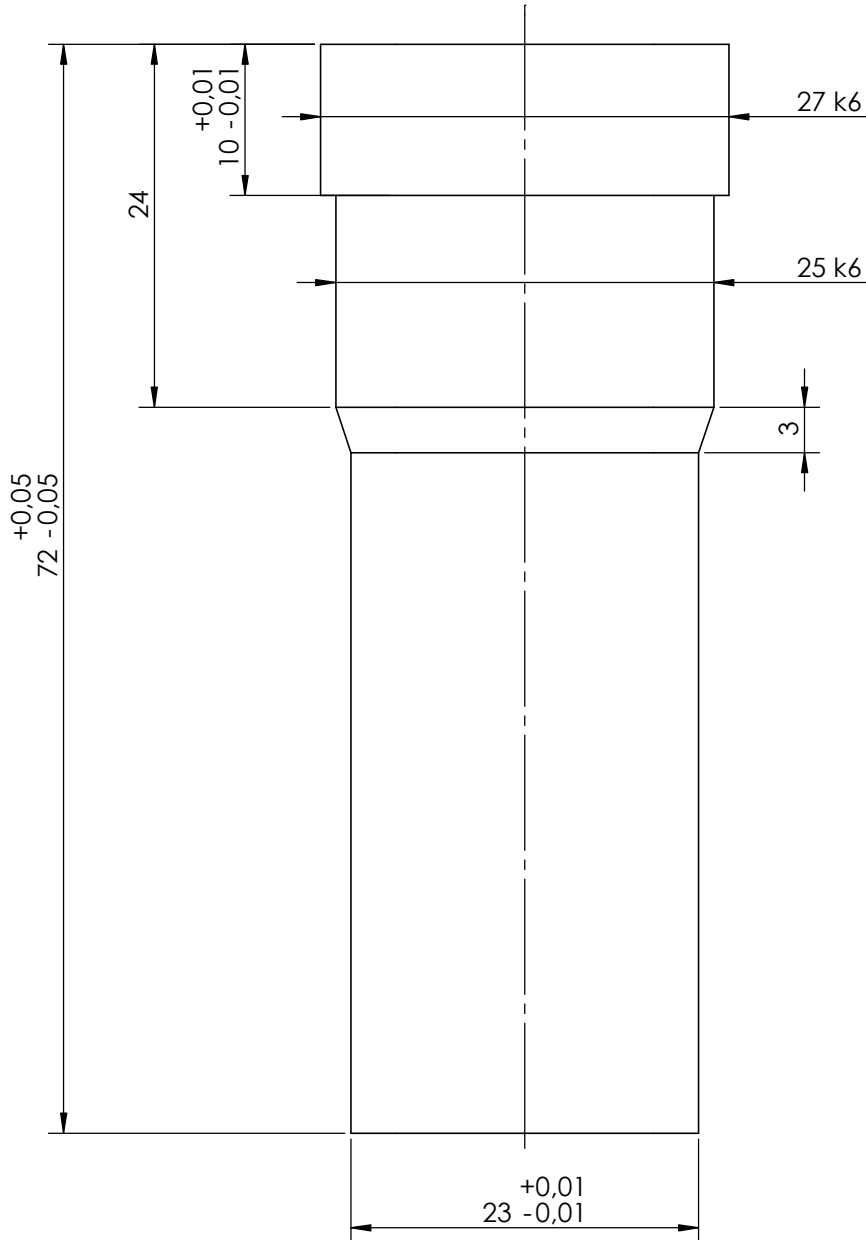
 <p>Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa</p>	<p>E.T.S.I.I.T.</p>	DEPARTAMENTO: DEPARTAMENTO DE PROYECTOS E INGENIRÍA RURAL		
	INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES (MECÁNICA)		PROYECTISTA: OLCOZ ALONSO, ALVARO	
PROYECTO: DISEÑO DE UN TROQUEL PROGRESIVO PARA LA FABRICACION DE DISCOS DE FRENO DE BICICLETA		FIRMA:		
PLANO: PUNZÓN TIPO B	MATERIAL: F-5220 (T+R)	Nº PLANO: 15	ESCALA: 1:1	FECHA: 06/2016



 <p>Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa</p>	<p>E.T.S.I.I.T.</p> <p>INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES (MECÁNICA)</p>		<p>DEPARTAMENTO: DEPARTAMENTO DE PROYECTOS E INGENIRÍA RURAL</p>		
	<p>PROYECTO: DISEÑO DE UN TROQUEL PROGRESIVO PARA LA FABRICACION DE DISCOS DE FRENO DE BICICLETA</p>		<p>PROYECTISTA: OLCOZ ALONSO, ALVARO</p>		
<p>PLANO: PUNZÓN TIPO C</p>		<p>MATERIAL: F-5220 (T+R)</p>	<p>Nº PLANO: 16</p>	<p>ESCALA: 2:1</p>	<p>FECHA: 06/2016</p>



N6



(ESCALA 1:1)



Universidad Pública
de Navarra
Nafarroako
Unibertsitate Publikoa

E.T.S.I.I.T.

INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS
INDUSTRIALES (MECÁNICA)

DEPARTAMENTO:
**DEPARTAMENTO DE
PROYECTOS E INGENIERÍA RURAL**

PROYECTO:

**DISEÑO DE UN TROQUEL PROGRESIVO PARA LA
FABRICACION DE DISCOS DE FRENO DE BICICLETA**

PROYECTISTA:

OLCOZ ALONSO, ALVARO

FIRMA:

PLANO:

PUNZÓN TIPO D

MATERIAL:

F-5220 (T+R)

Nº PLANO:

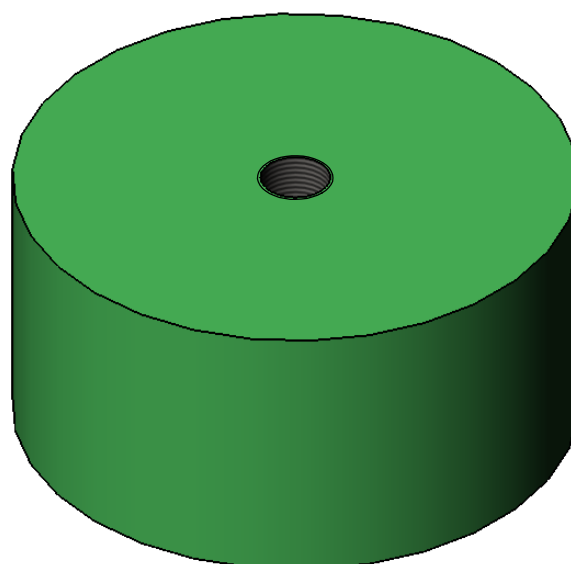
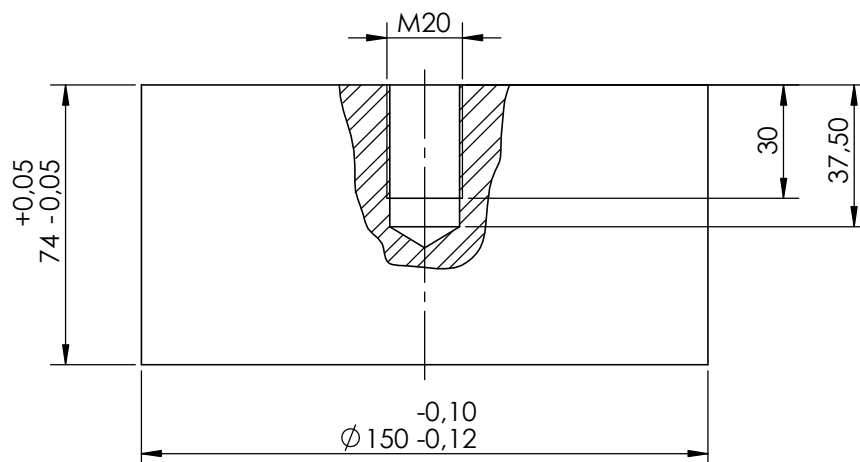
17

ESCALA:

2:1

FECHA:

06/2016



Universidad Pública
de Navarra
Nafarroako
Unibertsitate Publikoa

E.T.S.I.I.T.

INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS
INDUSTRIALES (MECÁNICA)

DEPARTAMENTO:
**DEPARTAMENTO DE
PROYECTOS E INGENIERÍA RURAL**

PROYECTO:

**DISEÑO DE UN TROQUEL PROGRESIVO PARA LA
FABRICACION DE DISCOS DE FRENO DE BICICLETA**

PROYECTISTA:

OLCOZ ALONSO, ALVARO

FIRMA:

PLANO:

PUNZÓN TIPO E

MATERIAL:

F-5220 (T+R)

Nº PLANO:

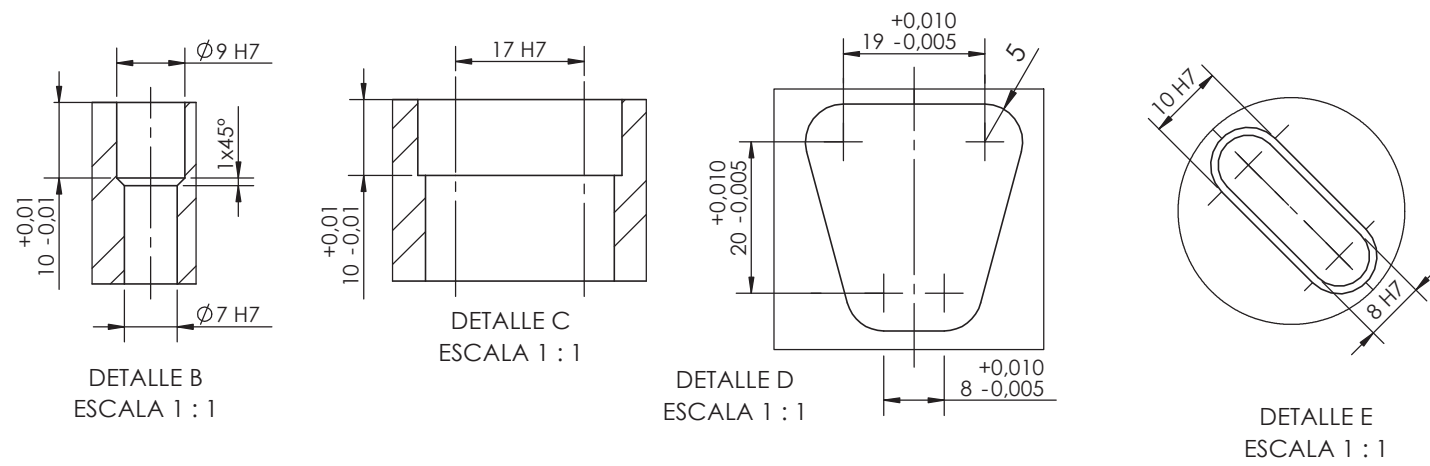
18

ESCALA:

1:2

FECHA:

06/2016



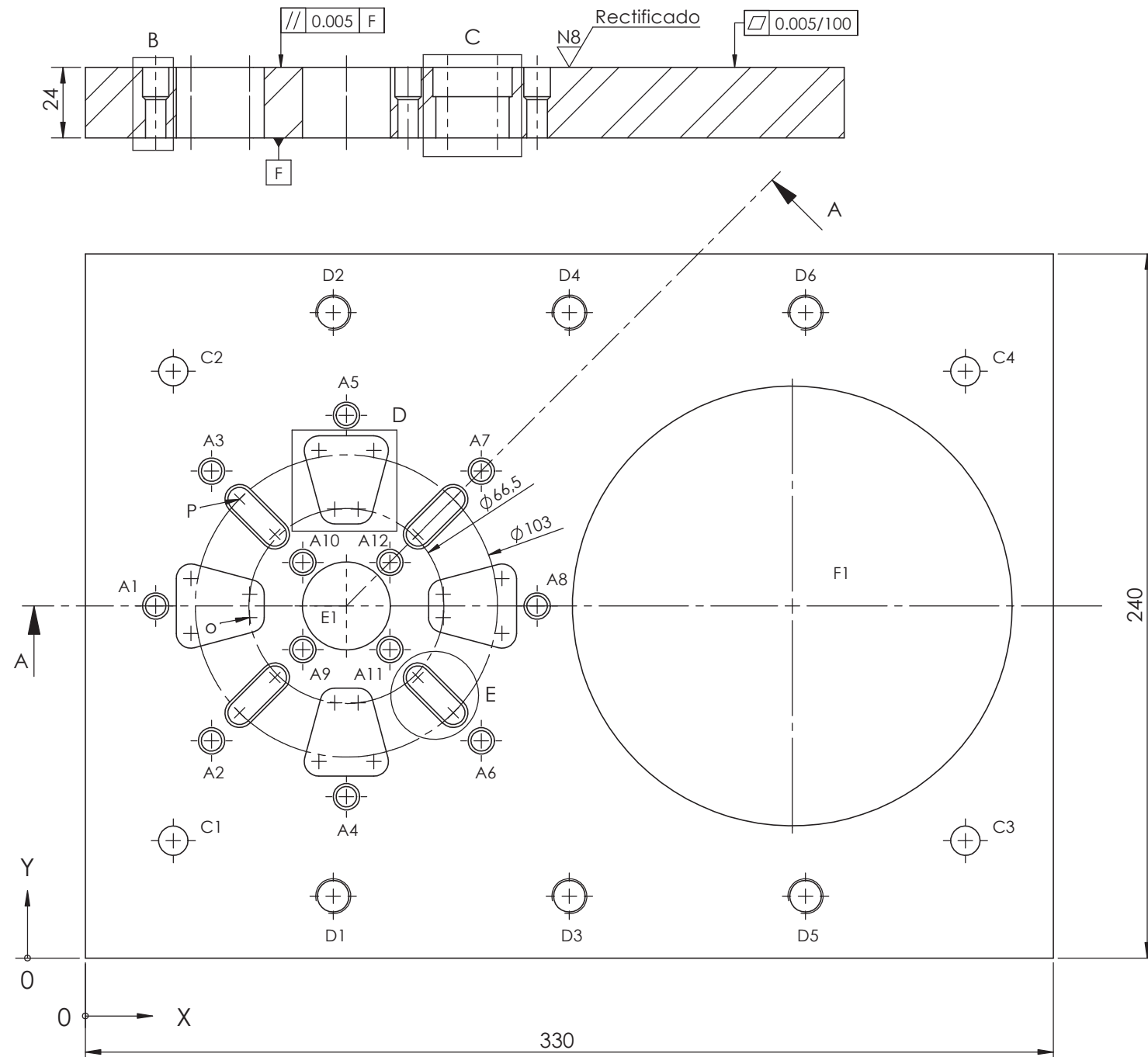
N9 / (N8)

TABLA DE COORDENADAS

RÓTULO	UBIC X	UBIC Y
O	56	116
P	52,6	156,4

TABLA DE TALADROS

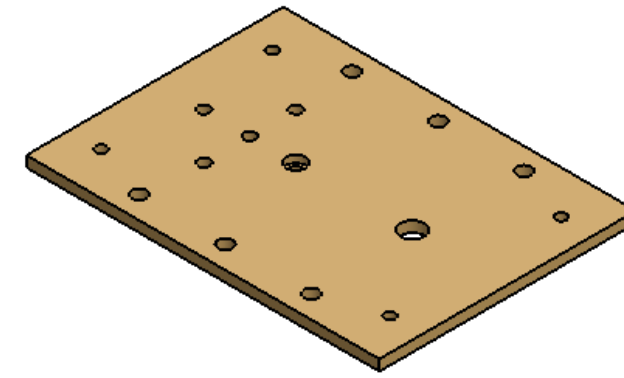
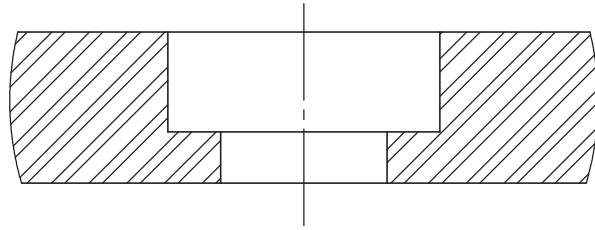
RÓTULO	UBIC X	UBIC Y	TAMAÑO
A1	24	120	VER DETALLE B
A2	43,04	74,04	
A3	43,04	165,96	
A4	89	55	
A5	89	185	
A6	134,96	74,04	
A7	134,96	165,96	
A8	154	120	
A9	74,15	105,15	
A10	74,15	134,85	
A11	103,85	105,15	
A12	103,85	134,85	
C1	30	40	$\phi 10 H7$ POR TODO
C2	30	200	
C3	300	40	
C4	300	200	
D1	84,50	21,08	$\phi 10,80$ POR TODO M12x1.25 POR TODO
D2	84,50	220	
D3	165	21,08	
D4	165	220	
D5	245,50	21,08	
D6	245,50	220	
E1	89	120	$\phi 30 -0.005$ POR TODO
F1	241	120	$\phi 150 -0,13$ POR TODO



POSICIÓN DE TRAPEZIOS Y RANURAS DEFINIDA MEDIANTE SIMETRIA POLAR EN TORNO A E1

 Universidad Pública de Navarra Nafarroako Unibertsitate Publikoa	E.T.S.I.I.T. INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES (MECÁNICA)	DEPARTAMENTO: DEPARTAMENTO DE PROYECTOS E INGENIRÍA RURAL
	PROYECTO: DISEÑO DE UN TROQUEL PROGRESIVO PARA LA FABRICACIÓN DE DISCOS DE FRENO DE BICICLETA	
PLANO: PLACA PORTA PUNZONES		PROYECTISTA: OLCOZ ALONSO, ALVARO FIRMA:
MATERIAL: F-1140	Nº PLANO: 19	ESCALA: 1:2
FECHA: 06/2016		

DETALLE B
ESCALA 2 : 1



(ESCALA 1:5)

N9 / (N8 / N7)

TABLA DE TALADROS

RÓTULO	UBIC X	UBIC Y	TAMAÑO
A1	30	40	Ø 10 H7 POR TODO
A2	30	200	
A3	300	40	
A4	300	200	
B1	46	120	Ø 11 POR TODO
B2	89	77	
B3	89	120	
B4	89	163	
C1	84,50	21,08	Ø 13,5 POR TODO
C2	84,50	220	
C3	165	21,08	
C4	165	220	
C5	245,50	21,08	
C6	245,50	220	
D1	132	120	Ø 11 ∇ 10 └─┘ Ø 18 ∇ 6,60
E1	241	120	Ø 22 POR TODO



Universidad Pública
de Navarra
Nafarroako
Unibertsitate Publikoa

E.T.S.I.I.T.

INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS
INDUSTRIALES (MECÁNICA)

DEPARTAMENTO:
**DEPARTAMENTO DE
PROYECTOS E INGENIRÍA RURAL**

PROYECTO:

**DISEÑO DE UN TROQUEL PROGRESIVO PARA LA
FABRICACIÓN DE DISCOS DE FRENO DE BICICLETA**

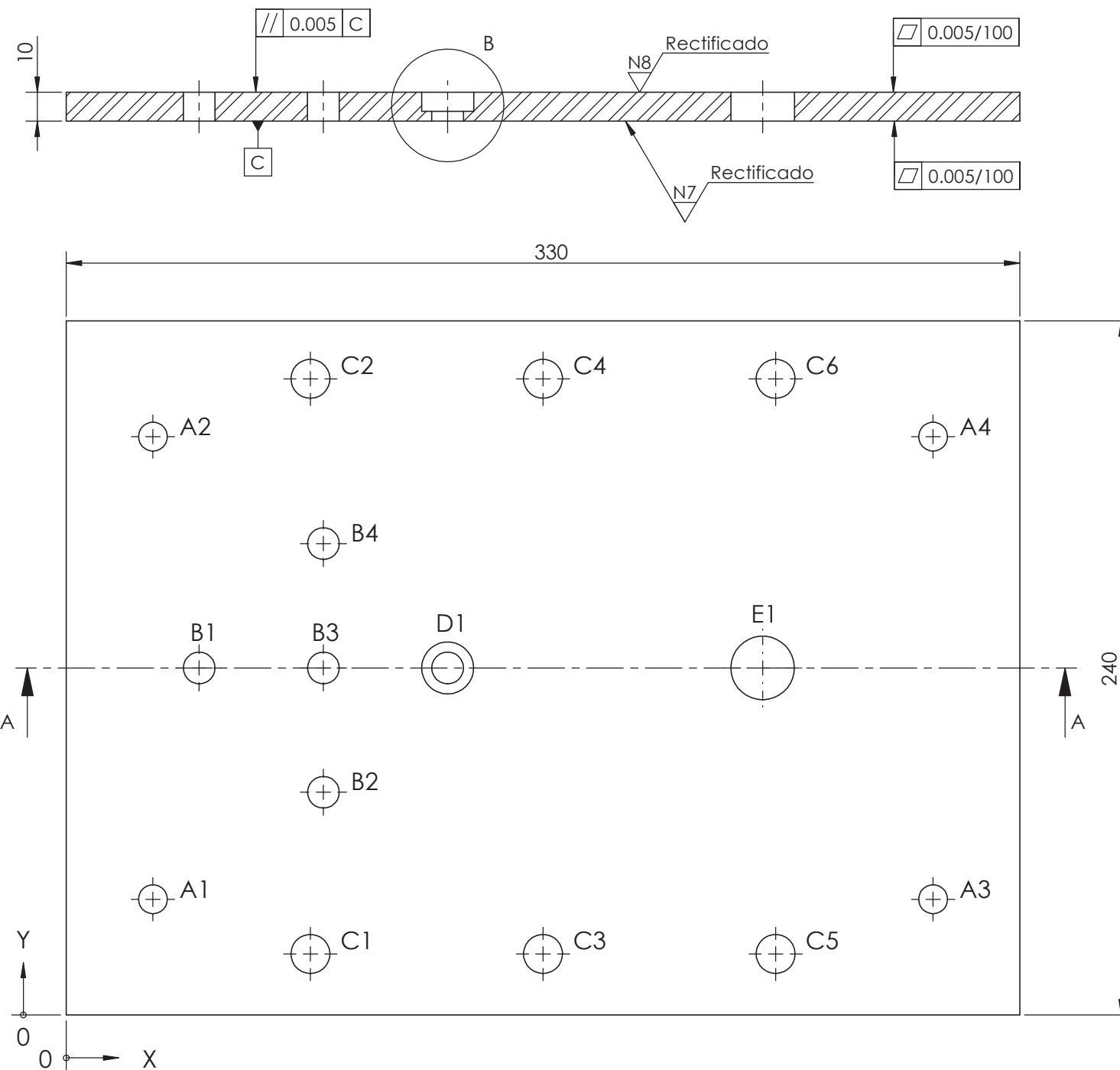
PROYECTISTA:
OLCOZ ALONSO, ALVARO

FIRMA:

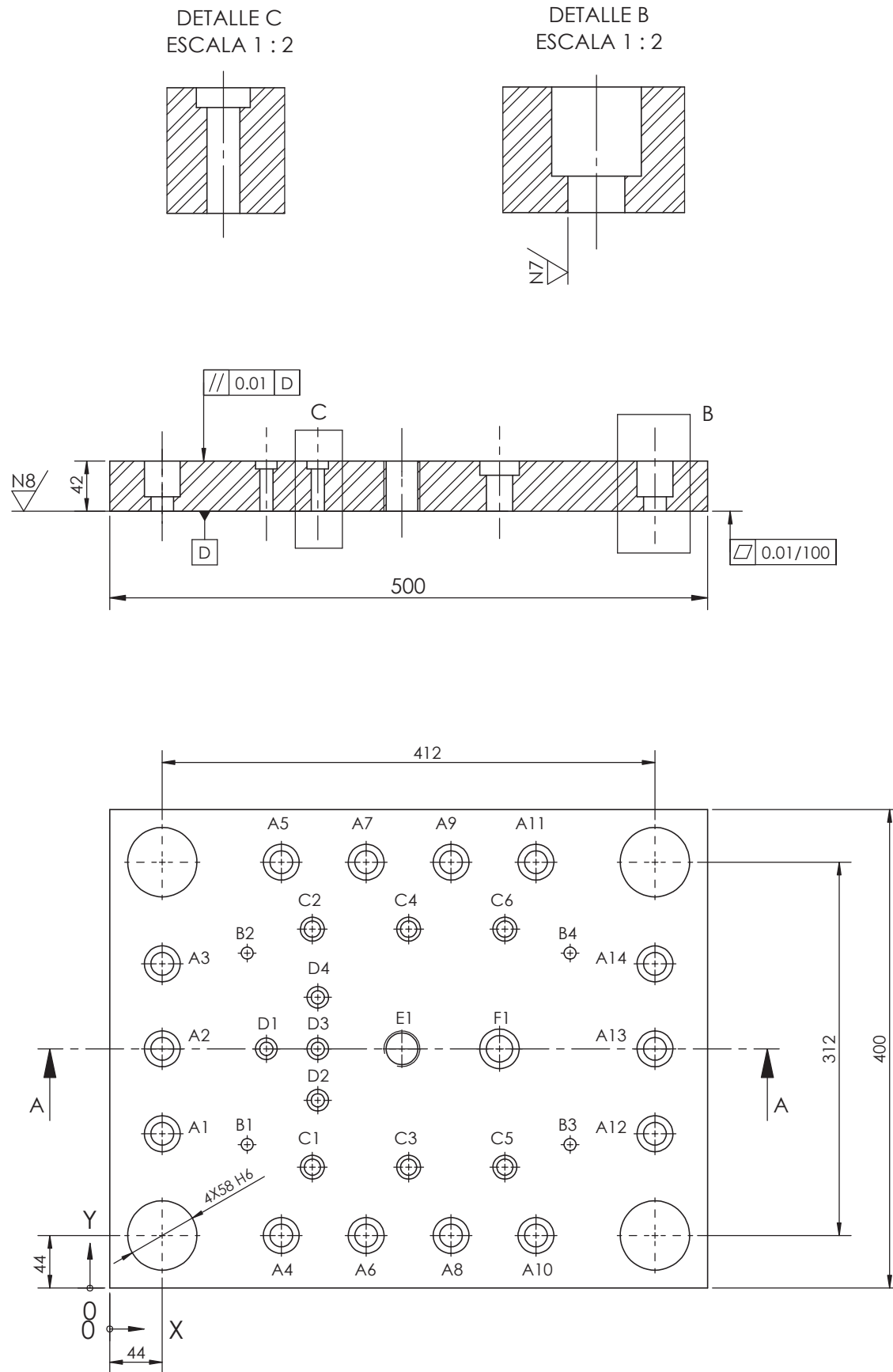
PLANO:
PLACA SUFRIDERA

MATERIAL:
F-5220 (T+R)

Nº PLANO: **20** ESCALA: **1:2** FECHA: **06/2016**



N9 / (N8 / N7)



NOTA: Los agujeros para las columnas guía (rugosidad N7) vienen realizados con el portamatrices

TABLA DE TALADROS

RÓTULO	UBIC X	UBIC Y	TAMAÑO
A1	44	129	∅ 19 H9 POR TODO └─ ∅ 30 ▽ 29,8
A2	44	200	
A3	44	271	
A4	143,5	44	
A5	143,5	356	
A6	214,5	44	
A7	214,5	356	
A8	285,5	44	
A9	285,5	356	
A10	356,5	44	
A11	356,5	356	
A12	456	129	
A13	456	200	
A14	456	271	
B1	115	120	∅ 10 H7 POR TODO
B2	115	280	
B3	385	120	
B4	385	280	
C1	169,50	101,08	∅ 13,50 POR TODO └─ ∅ 20 ▽ 7,60
C2	169,50	300	
C3	250	101,08	
C4	250	300	
C5	330,50	101,08	
C6	330,50	300	
D1	131	200	∅ 11 POR TODO └─ ∅ 18 ▽ 6,60
D2	174	157	
D3	174	200	
D4	174	243	
E1	244,41	200	∅ 26,50 POR TODO M30 POR TODO
F1	326	200	∅ 22 POR TODO └─ ∅ 33 ▽ 11,80



Universidad Pública de Navarra
Nafarroako Unibertsitate Publikoa

E.T.S.I.I.T.

INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES (MECÁNICA)

DEPARTAMENTO:
DEPARTAMENTO DE PROYECTOS E INGENIRÍA RURAL

PROYECTO:

DISEÑO DE UN TROQUEL PROGRESIVO PARA LA FABRICACIÓN DE DISCOS DE FRENO DE BICICLETA

PROYECTISTA:
OLCOZ ALONSO, ALVARO

FIRMA:

PLANO:
PLACA SUPERIOR

MATERIAL:
F-1120

Nº PLANO: **21** ESCALA: **1:5** FECHA: **06/2016**



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN

TRABAJO FIN DE GRADO

Titulación:

GRADO EN INGENIERÍA EN TÉCNOLOGÍAS INDUSTRIALES
(MENCIÓN MECÁNICA)

Título del proyecto:

“DISEÑO DE UN TROQUEL PROGRESIVO PARA LA
FABRICACIÓN DE DISCOS DE FRENO DE BICICLETA”

DOCUMENTO 4: PLIEGO DE CONDICIONES

Alvaro Olcoz Alonso

Tutora: Sara Marcelino Sadaba

Pamplona, Junio 2016



ÍNDICE DE CONTENIDO

1. PLIEGO DE CONDICIONES DE FABRICACIÓN	3
1.1. CONTENEDOR	3
1.2. PLACA BASE INFERIOR	4
1.3. PLACA MATRIZ.....	5
1.4. GUÍAS DE BANDA	6
1.5. PLACA PISADORA	7
1.6. PLACA GUÍA PUNZONES	8
1.7. PUNZÓN TIPO A	9
1.8. PUNZÓN TIPO B	10
1.9. PUNZÓN TIPO C	11
1.10. PUNZÓN TIPO D	12
1.11. PUNZÓN TIPO E.....	13
1.12. PLACA PORTA PUNZONES	14
1.13. PLACA SUFRIDERA	15
1.14. PLACA SUPERIOR.....	16
2. PLIEGO DE CONDICIONES DE MONTAJE	17
2.1. MONTAJE DEL SUBCONJUNTO INFERIOR	17
2.2. MONTAJE DEL SUBCONJUNTO CENTRAL	18
2.3. MONTAJE DEL SUBCONJUNTO SUPERIOR	19
2.4. UNIÓN DE PARTES MÓVILES	21
2.5. ENSAMBLAJE FINAL	23
3. PLIEGO DE CONDICIONES DE SEGURIDAD	24
3.1. SEGURIDAD LABORAL	24
3.2. RIESGOS PRESENTES EN EL TROQUELADO	25
3.3. MEDIDAS DE PREVENCIÓN	25
3.4. MEDIDAS DE PROTECCIÓN.....	26
4. PLIEGO DE CONDICIONES DE MANTENIMIENTO	27
4.1. FASE DE PRUEBAS DEL TROQUEL.....	27



4.2.	DIRECTRICES GENERALES PARA EL MANTENIMIENTO.....	30
4.3.	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	31
4.3.1.	Componentes críticos a revisar	31
4.3.2.	Fichas de mantenimiento.....	32
4.3.3.	Causas de fallo de componentes.....	34
4.3.4.	Limpieza y engrase del troque	35
4.4.	MANTENIMIENTO CORRECTIVO.....	35

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 4.1.	Montaje del subconjunto inferior	18
Figura 4.2.	Montaje del subconjunto central	19
Figura 4.3.	Montaje subconjunto superior	21
Figura 4.4.	Unión de partes móviles	22
Figura 4.5.	Detalle de unión partes móviles (Sin escala).....	22
Figura 4.6.	Ensamblado final del troquel diseñado.....	23
Figura 4.7.	Ejemplo de ficha para pruebas de matriz	29
Figuras 4.8 y 4.9.	Ejemplos de fichas de control de mantenimiento	33



1. PLIEGO DE CONDICIONES DE FABRICACIÓN

En este apartado se describe la fabricación de cada una de las piezas no comerciales que forman parte del troquel diseñado. Para cada pieza se especificará el **material** empleado, la **dimensión** del tocho de partida, el proceso de **mecanizado**, el **tratamiento térmico** (si lo hubiese) y las **tolerancias** y **acabados superficiales** requeridos.

1.1. CONTENEDOR

- Material:

NORMA			
UNE-36009	AISI	W.Nr.	DIN
F-1120	1020	≈ 1.0044	Ck20

- Dimensión: Tocho de partida de 520x420x100 mm
- Proveedor: *ThyssenKrupp* Aceros y Servicios S.A.
- Mecanizado:

El mecanizado del contenedor se realiza sobre el tocho recibido, sin operación de desbaste:

- 1) Punteado y taladrado de agujeros.
- 2) Mandrinado y roscado de agujeros.
- 3) Mecanizado del alojamiento para la base inferior mediante fresadora CNC.
- 4) Mecanizado de rampas de expulsión mediante fresadora CNC de 4 ejes.

Más detalles sobre recomendaciones de mecanizado del acero F-1120 disponibles en el *Anexo C*.

- Tolerancias:
 - 1) **Planitud** de la superficie superior de 0.01 mm. por 100 mm de longitud
 - 2) Tolerancia dimensional **H7** en dimensiones de largura y anchura del alojamiento para la placa base inferior.
- Acabado superficial:
 - 1) Acabado superficial general de **clase N10** (12,5 µm de rugosidad Ra).
 - 2) Acabado superficial de **clase N8** (3,2 µm de rugosidad Ra) en caras de alojamiento para la base inferior.
 - 3) Acabado superficial de **clase N7** en rampas de salida (1,6 µm de rugosidad Ra).



1.2. PLACA BASE INFERIOR

- Material:

NORMA			
UNE-36009	AISI	W.Nr.	DIN
F-1120	1020	≈ 1.0044	Ck20

- Dimensión: Proviene del portamatrices Modelo D número 67 de *INMACISA*.

- Mecanizado:

El mecanizado de la placa base inferior se realiza sobre la unidad recibida, sin operación de desbaste:

- 1) Punteado y taladrado de agujeros.
- 2) Mandrinado y roscado de agujeros.
- 3) Mecanizado de formas o rebajes mediante fresadora CNC.

Más detalles sobre recomendaciones de mecanizado del acero F-1120 disponibles en el *Anexo C*.

- Tolerancias:

- 1) Tolerancia de 0.01 mm en el **paralelismo** de las caras de apoyo.
- 2) **Planitud** de las superficies de apoyo de 0.01 mm por 100 mm de longitud
- 3) **Perpendicularidad** de 0.015 mm. entre columnas y la cara de apoyo.
- 4) Tolerancia dimensional **h6** en dimensiones de largura y anchura para ser alojada en el rebaje del contenedor.
- 5) Tolerancia dimensional **R7** en agujeros para encajar las columnas guía.
- 6) Tolerancia dimensional **H7** en agujeros para pasadores.

Para más información, véase la hoja de tolerancias de portamatrices *INMACISA*, en el *Anexo D*.

- Acabado superficial:

- 1) Acabado superficial general de **clase N8** (3,2 µm de rugosidad Ra).
- 2) Acabado superficial de **clase N7** en agujeros para columnas (1,6 µm de rugosidad Ra).



1.3. PLACA MATRIZ

- Material:

NORMA			
UNE-36009	AISI	W.Nr.	DIN
F-5220	O1	1.251O	100MnCrW4

- Proveedor: *ThyssenKrupp* Aceros y Servicios S.A.

- Dimensión: Tocho de partida de 340x250x28 mm.

- Mecanizado y Tratamiento Térmico:

Se parte del material en bruto con un excedente de 5 mm. aprox. en todas sus caras:

- 1) Desbaste, limpieza y escuadrado de caras.
- 2) Punteado y taladrado de agujeros.
- 3) Tratamiento térmico: **temple** (precalentamiento 650°C, austenización a 800 °C y enfriamiento en aceite) y posterior **revenido** (doble, a 200 °C) para obtener una dureza de 60-62 HRc.
- 4) Mecanizado de figuras mediante **electroerosión** de corte por hilo.
- 5) Mandrinado de agujeros.
- 6) **Rectificado** (5mm) de plano superior e inferior.

Más detalles sobre recomendaciones sobre mecanizado y tratamientos térmicos del acero F-5220 disponibles en el *Anexo C*.

- Tolerancias:

- 1) Tolerancia de 0.005mm en el **paralelismo** de las caras de apoyo.
- 2) **Planitud** de las superficies de apoyo de 005mm por 100mm de longitud.
- 3) Tolerancia dimensional $\begin{matrix} +0,12 \\ +0,10 \end{matrix}$ en figuras de agujeros interiores y +- 0,01 en perímetro del punzón extractor.
- 4) Tolerancia dimensional **H7** en agujeros para pasadores.

- Acabado superficial:

- 1) Acabado superficial general de **clase N9** (6,3 µm de rugosidad Ra).
- 2) Acabado superficial en caras de contacto de **clase N7** (1,6 µm de rugosidad Ra).
- 3) Acabado superficial en superficies de corte de **clase N6** (0,8 µm de rugosidad Ra).

* **NOTA:** El proceso de electroerosionado es independiente de la dureza de la superficie a mecanizar y se lleva a cabo después de realizar el tratamiento térmico para evitar deformaciones debidas a las tensiones residuales de mecanizado y tensiones térmicas surgidas durante el tratamiento térmico.



1.4. GUÍAS DE BANDA

- Material:

NORMA			
UNE-36009	AISI	W.Nr.	DIN
F-5220	O1	1.251O	100MnCrW4

- Proveedor: *ThyssenKrupp* Aceros y Servicios S.A.
- Dimensión: Tocho de partida de 340x50x15 mm.
- Mecanizado y Tratamiento Térmico:

El mecanizado de las guías de banda se realiza partiendo del material en bruto con un excedente de 5 mm. aprox. en todas sus caras:

- 1) Desbaste, limpieza y escuadrado de caras.
- 2) Punteado y taladrado de agujeros.
- 3) Tratamiento térmico: **temple** (precalentamiento 650°C, austenización a 800 °C y enfriamiento en aceite) y posterior **revenido** (doble, a 350 °C) para obtener una dureza de 54-56 HRC.
- 4) Mandrinado de agujeros para pasadores.
- 5) **Rectificado** (5 mm) de las caras de guiado.

Más detalles sobre recomendaciones sobre mecanizado y tratamientos térmicos del acero F-5220 disponibles en el *Anexo C*.

- Tolerancias:

- 1) Tolerancia de 0.05 mm en el **paralelismo** de las caras de guiado.
- 2) **Planitud** de las superficies de apoyo de 0.05 mm por 100mm. de longitud
- 3) Tolerancia dimensional **H7** en agujeros para pasadores

- Acabado superficial:

- 1) Acabado superficial general de **clase N9** (6,3 µm de rugosidad Ra).
- 2) Acabado superficial en las caras de guiado de **clase N7** (1,6 µm de rugosidad Ra).

* **NOTA:** Para reglas guía de banda de tamaño grande y espesores pequeños, es aconsejable que el tratamiento térmico se realice a baja dureza y antes del mecanizado. De esta forma se podrán evitar deformaciones y el necesario rectificado posterior.



1.5. PLACA PISADORA

- Material:

NORMA			
UNE-36009	AISI	W.Nr.	DIN
F-1140	1045	1.1730	Ck45

- Proveedor: *ThyssenKrupp* Aceros y Servicios S.A.
- Dimensión: Tocho de partida de 340x172x25 mm.
- Mecanizado:

El mecanizado de la placa pisadora se realiza partiendo del material en bruto con un excedente de 5 mm. aprox. en todas sus caras.

- 1) Desbaste, limpieza y escuadrado de caras.
- 2) Punteado y taladrado de agujeros.
- 3) Mandrinado y roscado de agujeros.
- 4) Mecanizado de formas mediante fresadora CNC.
- 5) **Rectificado** de planos superior e inferior.

Más detalles sobre recomendaciones de mecanizado del acero F-1140 disponibles en el *Anexo C*.

- Tolerancias:

- 1) Tolerancia de 0.005 mm en el **paralelismo** de las caras de apoyo.
- 2) **Planitud** de las superficies de apoyo de 0.005 mm por 100 mm de longitud
- 3) Tolerancia dimensional $\begin{matrix} +0,2 \\ +0,1 \end{matrix}$ para las figuras de recortes interiores y $\begin{matrix} +0,1 \\ +0 \end{matrix}$ en la figura del punzón extractor.
- 4) Tolerancia dimensional **H7** en agujeros para pasadores.

- Acabado superficial:

- 1) Acabado superficial general de **clase N9** (6,3 µm de rugosidad Ra).
- 2) Acabado superficial de **clase N8** en plano de contacto con placa guía (3,2 µm de rugosidad Ra).
- 3) Acabado superficial de **clase N7** en plano inferior (1,6 µm de rugosidad Ra).



1.6. PLACA GUÍA PUNZONES

- Material:

NORMA			
UNE-36009	AISI	W.Nr.	DIN
F-1120	1020	≈ 1.0044	Ck20

- Dimensión: Proviene del portamatrices Modelo D número 67 de *INMACISA*.

- Mecanizado:

El mecanizado de la placa guía punzones se realiza sobre la unidad recibida, sin operación de desbaste:

- 1) Punteado y taladrado de agujeros.
- 2) Mandrinado y roscado de agujeros.
- 3) Mecanizado de formas mediante fresadora CNC.
- 4) **Rectificado** del rebaje del plano inferior.

Más detalles sobre recomendaciones de mecanizado del acero F-1120 disponibles en el *Anexo C*.

- Tolerancias:

- 1) Tolerancia de 0.01 mm en el **paralelismo** de las caras de apoyo.
- 2) **Planitud** de la superficie de apoyo de 0.01 mm por 100 mm de longitud.
- 3) **Perpendicularidad** de 0.015 mm entre casquillos guía y la cara de apoyo.
- 4) Tolerancia dimensional $\begin{matrix} +0,2 \\ +0,1 \end{matrix}$ para las figuras de recortes interiores y $\begin{matrix} +0,1 \\ +0 \end{matrix}$ en la figura del punzón extractor.
- 5) Tolerancia dimensional **H7** en agujeros para pasadores.
- 6) Tolerancia dimensional **H6** en agujeros para casquillos guía.

Para más información, véase la hoja de tolerancias de portamatrices *INMACISA*, en el *Anexo D*.

- Acabado superficial:

- 1) Acabado superficial general de **clase N9** (6,3 µm de rugosidad Ra).
- 2) Acabado superficial de **clase N8** en plano de contacto con placa pisadora (3,2 µm de rugosidad Ra).
- 3) Acabado superficial de **clase N7** en agujeros para casquillos guía (1,6 µm de rugosidad Ra).



1.7. PUNZÓN TIPO A

- Material:

NORMA			
UNE-36009	AISI	W.Nr.	DIN
F-5220	O1	1.251O	100MnCrW4

- Proveedor: ThyssenKrupp Aceros y Servicios S.A.
- Dimensión: Tocho cilíndrico de partida de Ø12x85 mm.
- Mecanizado y Tratamiento Térmico:

El mecanizado del punzón tipo A se realiza partiendo del material en bruto con un excedente de entre 3 y 6 mm.

- 1) Desbaste y limpieza en torno.
- 2) **Torneado de precisión** de la forma final.
- 3) Tratamiento térmico: **recocido** (600°C) para eliminación de tensiones direccionales o de mecanizado, que pueden producir cambios dimensionales y deformaciones inadmisibles.
- 4) Tratamiento térmico: **temple** (precalentamiento 650°C, austenización a 800 °C y enfriamiento en aceite) y posterior **revenido** (doble, a 180 °C) para obtener una dureza de 62-64 HRc.

Más detalles sobre recomendaciones de mecanizado y el tratamiento térmico del acero F-5220 disponibles en el *Anexo C*.

- Tolerancias:

- 1) Tolerancia dimensional en cabeza de alojamiento **k6**.
- 2) Tolerancia dimensional +- 0,01 mm en perímetro de corte.
- 3) Tolerancia dimensional de +-0,01 mm en largura de cabeza de apoyo.
- 4) Tolerancia dimensional de +-0,05 mm en la longitud total del punzón.

- Acabado superficial:

Acabado superficial general de **clase N6** (0,8 µm de rugosidad Ra).

NOTA*: Para producciones grandes en las que los punzones realizan gran número de ciclos, los punzones pueden ser tratados termoquímicamente mediante cementado o nitrurado para aumentar su dureza. En casos extremos también pueden fabricarse en Widia.



1.8. PUNZÓN TIPO B

- Material:

NORMA			
UNE-36009	AISI	W.Nr.	DIN
F-5220	O1	1.251O	100MnCrW4

- Proveedor: *ThyssenKrupp* Aceros y Servicios S.A.
- Dimensión: Tocho o de partida de 35x40x82 mm.
- Mecanizado y Tratamiento Térmico:

El mecanizado del punzón tipo B se realiza partiendo del material en bruto con un excedente de entre 4 y 5 mm.

- 1) Desbaste y limpieza de caras mediante fresado cilíndrico.
- 2) Punteado y taladrado del agujero M10.
- 3) Escariado y roscado del agujero M10.
- 4) Tratamiento térmico: **recocido** (600°C) para eliminación de tensiones direccionales o de mecanizado, que pueden producir cambios dimensionales y deformaciones inadmisibles.
- 5) Tratamiento térmico: **temple** (precalentamiento 650°C, austenización a 800 °C y enfriamiento en aceite) y posterior **revenido** (doble, a 180 °C) para obtener una dureza de 62-64 HRc.
- 6) **Electroerosionado de corte por hilo** para obtención de contorno final.

Más detalles sobre recomendaciones de mecanizado y el tratamiento térmico del acero F-5220 disponibles en el *Anexo C*.

- Tolerancias:

- 1) Tolerancia dimensional en sección de corte de +- 0,01 mm.
- 2) Tolerancia dimensional de +-0,05 mm en la longitud total del punzón.

- Acabado superficial:

Acabado superficial general de **clase N6** (0,8 µm de rugosidad Ra).

NOTA*: El mecanizado final se hace después del tratamiento térmico, porque el proceso de electroerosión de corte por hilo se lleva a cabo con independencia de la dureza superficial del material a mecanizar.



1.9. PUNZÓN TIPO C

- Material:

NORMA			
UNE-36009	AISI	W.Nr.	DIN
F-5220	O1	1.251O	100MnCrW4

- Proveedor: *ThyssenKrupp* Aceros y Servicios S.A.

- Dimensión: Tocho o de partida de Ø36x82 mm.

- Mecanizado y Tratamiento Térmico:

El mecanizado del punzón tipo C se realiza partiendo del material en bruto con un excedente radia de 3 mm.

- 1) Desbaste y limpieza mediante torneado.
- 2) Punteado y taladrado del agujero M10.
- 3) Escariado y roscado del agujero M10.
- 4) **Torneado de precisión** de la forma final.
- 5) Tratamiento térmico: **recocido** (600°C) para eliminación de tensiones direccionales o de mecanizado, que pueden producir cambios dimensionales y deformaciones inadmisibles.
- 6) Tratamiento térmico: **temple** (precalentamiento 650°C, austenización a 800 °C y enfriamiento en aceite) y posterior **revenido** (doble, a 180 °C) para obtener una dureza de 62-64 HRc.

Más detalles sobre recomendaciones de mecanizado y el tratamiento térmico del acero F-5220 disponibles en el *Anexo C*.

- Tolerancias:

- 1) Tolerancia dimensional de diámetro $\pm 0,01$ mm.
- 2) Tolerancia dimensional de $\pm 0,05$ mm en la longitud total del punzón.

- Acabado superficial:

Acabado superficial general de **clase N6** (0,8 μ m de rugosidad Ra).



1.10. PUNZÓN TIPO D

- Material:

NORMA			
UNE-36009	AISI	W.Nr.	DIN
F-5220	O1	1.251O	100MnCrW4

- Proveedor: *ThyssenKrupp* Aceros y Servicios S.A.
- Dimensión: Tocho de partida de 32x20x82 mm.
- Mecanizado y Tratamiento Térmico:

El mecanizado del punzón tipo D se realiza partiendo del material en bruto con un excedente de entre 3 y 5 mm por cara.

- 1) Desbaste y limpieza mediante fresado cilíndrico.
- 2) **Fresado cilíndrico de precisión** en máquina CNC de 4 ejes para obtener contorno final.
- 3) Tratamiento térmico: **recocido** (600°C) para eliminación de tensiones direccionales o de mecanizado, que pueden producir cambios dimensionales y deformaciones inadmisibles.
- 4) Tratamiento térmico: **temple** (precalentamiento 650°C, austenización a 800 °C y enfriamiento en aceite) y posterior **revenido** (doble, a 180 °C) para obtener una dureza de 62-64 HRc.
- 5) **Fresado cilíndrico de precisión** en máquina CNC de 4 ejes para obtener contorno final.

Más detalles sobre recomendaciones de mecanizado y el tratamiento térmico del acero F-5220 disponibles en el *Anexo C*.

- Tolerancias:

- 1) Tolerancias dimensionales en cabeza de alojamiento **k6**.
- 2) Tolerancia dimensional +- 0,01 mm en perímetro de corte.
- 3) Tolerancia dimensional de +-0,01 mm en largura de cabeza de apoyo.
- 4) Tolerancia dimensional de +-0,05 mm en la longitud total del punzón.

- Acabado superficial:

Acabado superficial general de **clase N6** (0,8 µm de rugosidad Ra).



1.11. PUNZÓN TIPO E

- Material:

NORMA			
UNE-36009	AISI	W.Nr.	DIN
F-5220	O1	1.251O	100MnCrW4

- Proveedor: *ThyssenKrupp* Aceros y Servicios S.A.
- Dimensión: Tocho o de partida de Ø160x85 mm.
- Mecanizado y Tratamiento Térmico:

El mecanizado del punzón tipo C se realiza partiendo del material en bruto con un excedente radial de 5 mm.

- 1) Desbaste y limpieza mediante torneado.
- 2) Punteado y taladrado del agujero M20.
- 3) Mandrinado y roscado del agujero M20.
- 4) **Torneado de precisión** de la forma final
- 5) Tratamiento térmico: **recocido** (600°C) para eliminación de tensiones direccionales o de mecanizado, que pueden producir cambios dimensionales y deformaciones inadmisibles.
- 6) Tratamiento térmico: **temple** (precalentamiento 650°C, austenización a 800 °C y enfriamiento en aceite) y posterior **revenido** (doble, a 180 °C) para obtener una dureza de 62-64 HRc.

Más detalles sobre recomendaciones de mecanizado y el tratamiento térmico del acero F-5220 disponibles en el *Anexo C*.

- Tolerancias:

- 1) Tolerancia dimensional de diámetro $\begin{matrix} -0,10 \\ -0,12 \end{matrix}$ mm.
- 2) Tolerancia dimensional de $\pm 0,05$ mm en la longitud total del punzón.

- Acabado superficial:

Acabado superficial general de **clase N6** (0,8 µm de rugosidad Ra).



1.12. PLACA PORTA PUNZONES

- Material:

NORMA			
UNE-36009	AISI	W.Nr.	DIN
F-1140	1045	1.1730	Ck45

- Proveedor: *ThyssenKrupp* Aceros y Servicios S.A.
- Dimensión: Tocho de partida de 340x250x34 mm.
- Mecanizado:

El mecanizado de la placa pisadora se realiza partiendo del material en bruto con un excedente de 5 mm. aprox. en todas sus caras.

- 1) Desbaste, limpieza y escuadrado de caras.
- 2) Punteado y taladrado de agujeros.
- 3) Erosionado de alojamientos (penetración o hilo).
- 4) Mandrinado y roscado de agujeros.
- 5) **Rectificado** del plano superior.

Más detalles sobre recomendaciones de mecanizado del acero F-1140 disponibles en el *Anexo C*.

- Tolerancias:

- 1) Tolerancia de 0.005 mm en el **paralelismo** de las caras de apoyo.
- 2) **Planitud** de la superficie de apoyo de 0.005 mm por 100 mm de longitud.
- 3) **Perpendicularidad** de 0.003 mm entre punzones y cara de apoyo.
- 4) Tolerancia dimensional **H7** para alojamientos de punzones A y D
- 5) Tolerancia dimensional $\begin{matrix} +0,010 \\ -0,005 \end{matrix}$ para alojamientos de punzones B y C.
- 6) Tolerancia dimensional $\begin{matrix} -0,09 \\ -0,13 \end{matrix}$ para alojamiento de punzón extractor (tipo E)
- 7) Tolerancia dimensional de $\pm 0,01$ mm en dimensión de alojamientos.
- 8) Tolerancia dimensional **H7** en agujeros para pasadores.

- Acabado superficial:

- 1) Acabado superficial general de **clase N9** (6,3 μ m de rugosidad Ra).
- 2) Acabado superficial de **clase N8** en plano de contacto con placa sufridera (3,2 μ m de rugosidad Ra).



1.13. PLACA SUFRIDERA

- Material:

NORMA			
UNE-36009	AISI	W.Nr.	DIN
F-5220	O1	1.251O	100MnCrW4

- Proveedor: *ThyssenKrupp* Aceros y Servicios S.A.
- Dimensión: Tocho de partida de 340x250x20 mm.
- Mecanizado y Tratamiento Térmico:

El mecanizado de la placa sufridera se realiza partiendo del material en bruto con un excedente de 5 mm. aprox. en todas sus caras.

- 1) Desbaste, limpieza y escuadrado de caras.
- 2) Punteado y taladrado de agujeros.
- 3) Tratamiento térmico: **temple** (precalentamiento 650°C, austenización a 800 °C y enfriamiento en aceite) y posterior **revenido** (doble, a 300 °C) para obtener una dureza de 56-58 HRc.ç
- 4) Mandrinado de agujeros para pasadores.
- 5) **Rectificado** de planos superior e inferior.

Más detalles sobre recomendaciones de mecanizado y el tratamiento térmico del acero F-5220 disponibles en el *Anexo C*.

- Tolerancias:

- 1) Tolerancia de 0.005 mm en el **paralelismo** de las caras de apoyo.
- 2) **Planitud** de las superficies de apoyo de 0.005 mm por 100 mm de longitud.
- 3) Tolerancia dimensional **H7** en agujeros para pasadores.

- Acabado superficial:

- 1) Acabado superficial general de **clase N9** (6,3 µm de rugosidad Ra).
- 2) Acabado superficial de **clase N8** en plano de contacto con la placa superior (3,2 µm de rugosidad Ra).
- 3) Acabado superficial de **clase N7** en plano inferior (1,6 µm de rugosidad Ra).

***NOTA:** Para sufrideras de tamaño grande es aconsejable que el tratamiento térmico a baja dureza se realice antes del mecanizado para evitar las deformaciones posteriores al temple y el necesario rectificado.



1.14. PLACA SUPERIOR

- Material:

NORMA			
UNE-36009	AISI	W.Nr.	DIN
F-1120	1020	≈ 1.0044	Ck20

- Dimensión: Proviene del portamatrices Modelo D número 67 de *INMACISA*.

- Mecanizado:

El mecanizado de la placa superior se realiza sobre la unidad recibida, sin operación de desbaste:

- 1) Punteado y taladrado de agujeros.
- 2) Mandrinado de agujeros.
- 3) Roscado del agujero del vástago

Más detalles sobre recomendaciones de mecanizado del acero F-1120 disponibles en el *Anexo C*.

- Tolerancias:

- 1) Tolerancia de 0.01 mm en el **paralelismo** de las caras de apoyo.
- 2) **Planitud** de las superficies de apoyo de 0.01 mm por 100mm de longitud
- 3) **Perpendicularidad** de 0.015 mm entre casquillos guía y la cara de apoyo.
- 4) Tolerancia dimensional **H7** en agujeros para pasadores.
- 5) Tolerancia dimensional **H6** en agujeros para casquillos guía.
- 6) Tolerancia dimensional **E9** en diámetro de agujeros para topes guía.

Para más información, véase la hoja de tolerancias de portamatrices *INMACISA*, en el *Anexo D*.

- Acabado superficial:

- 1) Acabado superficial general de **clase N9** (6,3 µm de rugosidad Ra).
- 2) Acabado superficial de **clase N8** en plano inferior (3,2 µm de rugosidad Ra).
- 3) Acabado superficial de **clase N7** en agujeros para casquillos y topes guía (1,6 µm de rugosidad Ra).

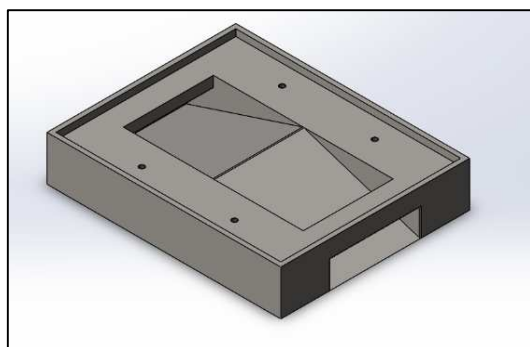
2. PLIEGO DE CONDICIONES DE MONTAJE

El objetivo de este capítulo es especificar el **proceso de montaje** del utillaje diseñado. Es necesario recalcar que las secuencias que se determinan para el montaje no son la única opción para llevarlo a cabo, pues la experiencia y gustos personales de los operarios matriceros encargados del montaje han de ser tenidos en cuenta.

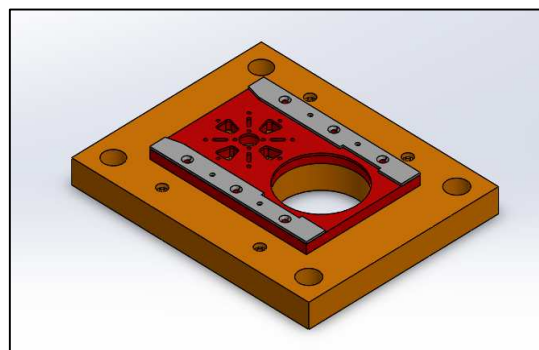
Se detallarán, también, los tipos de **uniones** y los **ajustes** que presentan las distintas piezas que así lo requieran.

2.1. MONTAJE DEL SUBCONJUNTO INFERIOR

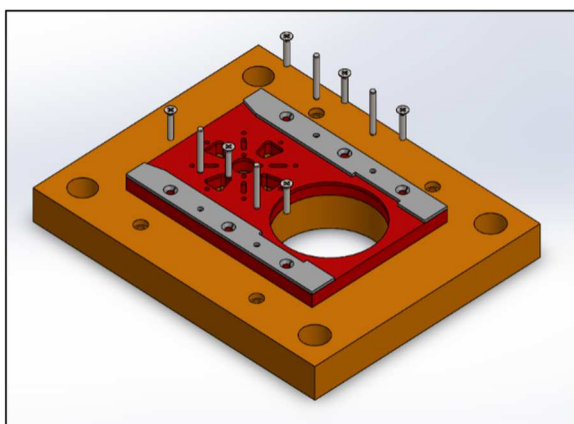
- 1) Colocación del *Contenedor* en la mesa de prensa. Debido a la robustez y peso (118 kg) de esta pieza, se empleará una grúa elevadora para su colocación.
- 2) Alineación de la *Placa base inferior*, *Placa matriz* y *Guías de banda* con el empleo de reglas y escuadras.
- 3) Unión de las 4 piezas mediante **6 tornillos DIN 965 M8x40 mm** y **4 pasadores DIN 6325 Ø8x60mm**. El ajuste eje-agujero para los pasadores se realiza con un sistema ISO agujero único **H7/m6**. Se trata de un ajuste indeterminado de gran precisión con tendencia al apriete, empleado para piezas inmóviles entre sí, que pueden montarse y desmontarse con martillo sin deterioro.
- 4) Inserción de las *Columnas guía* sobre los agujeros de la *Placa base inferior*. Las columnas Ø40 se montan por el lado de entrada de chapa y las de Ø42, por el opuesto. El ajuste eje-agujero para las columnas se realiza con un sistema ISO eje único **R7/h5** determinado por el fabricante *INMACISA*. Es un ajuste de apriete, que requiere del uso de maza dura para su montaje.
- 5) Colocación de la *Placa base inferior* en el alojamiento del *Contenedor*. El ajuste eje-agujero entre *Placa base inferior* y *Contenedor* se realiza con un sistema ISO eje (agujero) único **H7/h6**. Se trata de un ajuste de gran precisión, válido para piezas inmóviles entre sí, que deben montarse y desmontarse a mano sin deterioro.
- 6) Unión entre la *Placa base inferior* y el *Contenedor* mediante **4 tornillos DIN 7984 M12x60 mm**.



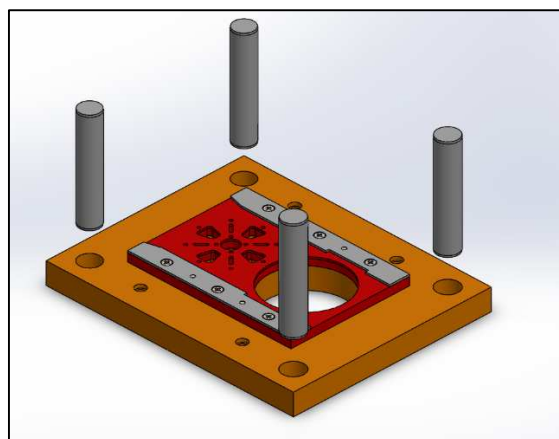
Secuencia 1



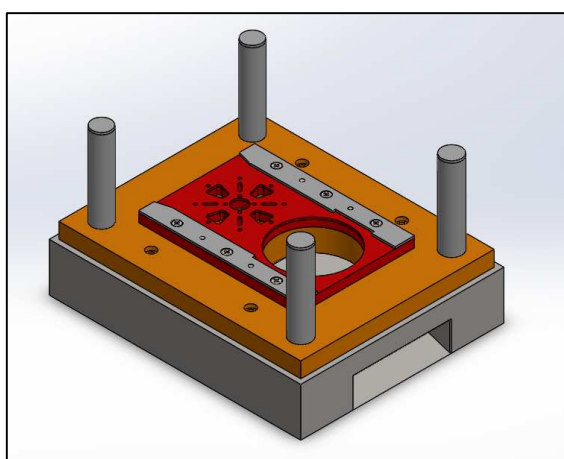
Secuencia 2



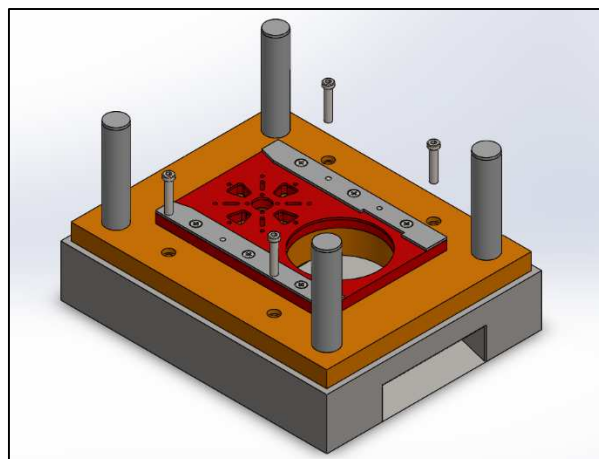
Secuencia 3



Secuencia 4



Secuencia 5

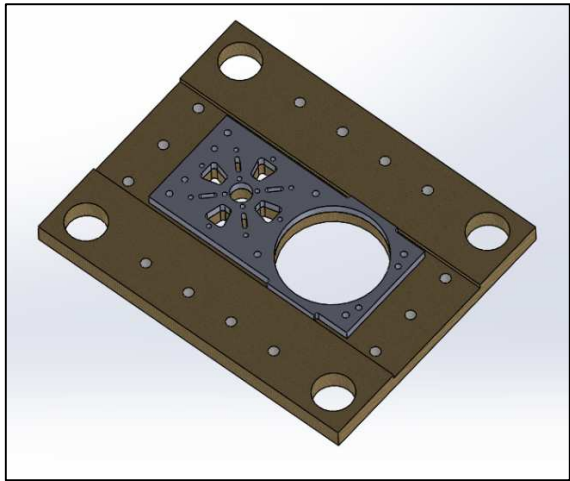
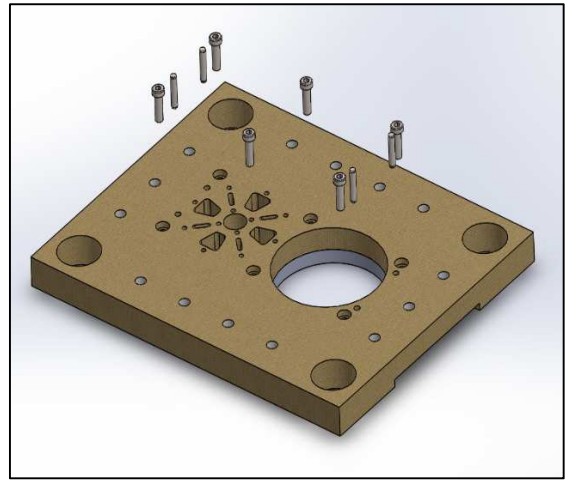
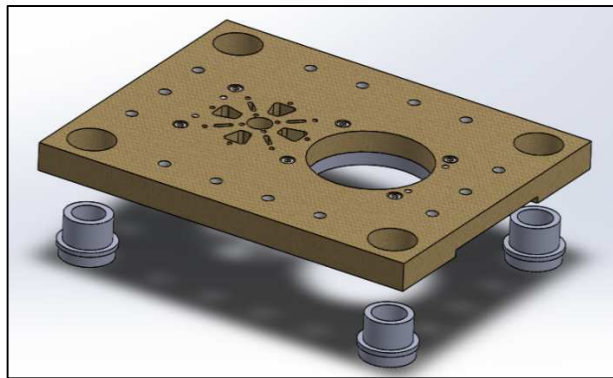


Secuencia 6

Figura 4.1. *Montaje del subconjunto inferior*

2.2.MONTAJE DEL SUBCONJUNTO CENTRAL

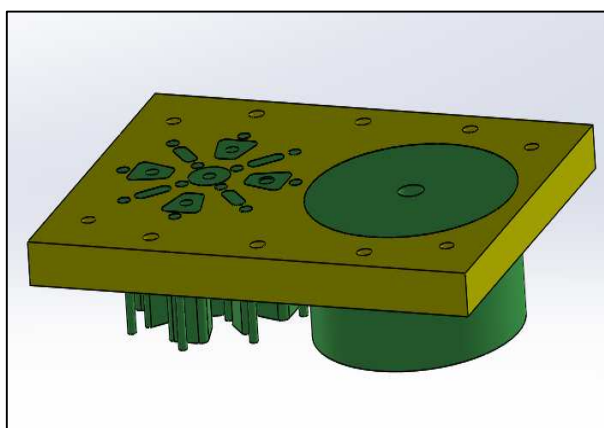
- 1) Solapado y alineamiento entre *Placa guía punzones* y *Placa pisadora*. La *Placa pisadora* va holgada en la ranura de la *Placa guía*, ya que su diseño se realiza por motivos de espacio y compactación del utillaje. Pueden emplearse reglas, escuadras y elementos de sujeción para realizar esta tarea.
- 2) Unión entre *Placa guía punzones* y *Placa Pisadora* mediante **6 tornillos DIN 7984 M10x30 mm** y **4 pasadores DIN 6325 Ø8x36 mm**. El ajuste eje-agujero para los pasadores se realiza con un sistema ISO agujero único **H7/m6**. Se trata de un ajuste indeterminado de gran precisión con tendencia al apriete, empleado para piezas inmóviles entre sí, que pueden montarse y desmontarse con martillo sin deterioro.
- 3) Inserción de los *Casquillos guía* en los agujeros de la *Placa guía punzones*. Se trata de un ajuste **H6/h4** que queda determinado por las tolerancias dimensionales establecidas para cada una de las piezas por el fabricante *INMACISA* (véase *Anexo C*).

*Secuencia 1**Secuencia 2**Secuencia 3***Figura 4.2.** *Montaje del subconjunto central*

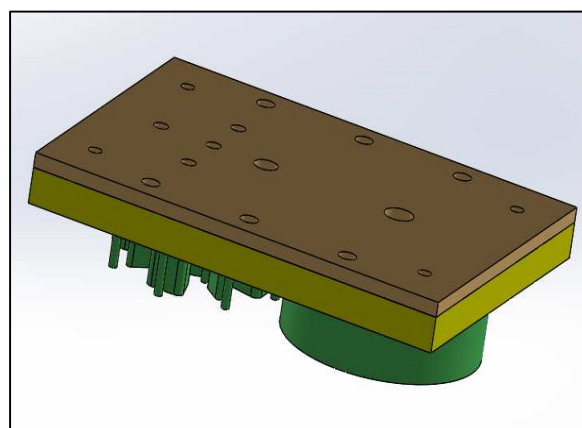
2.3. MONTAJE DEL SUBCONJUNTO SUPERIOR

- 1) Alojamiento y enrasado de los *punzones* en la *Placa porta punzones*. El ajuste empleado entre los punzones de cabeza mecanizada (tipo A y B) y los alojamientos en la placa es de **H7/k6**, recomendado por el Centro Tecnológico ASCAMM. Es un ajuste indeterminado con tendencia hacia el juego, empleado para piezas inmóviles entre sí que pueden ser puestas en su sitio con un martillo sin deterioro. Los punzones B, C y E se ajustan mediante un ajuste indeterminado de las mismas propiedades, pero no normalizado.
- 2) Alineamiento entre *Placa sufridera* y *Placa porta punzones*. Pueden emplearse reglas, escuadras y elementos de sujeción para realizar esta tarea.
- 3) Atornillado del *punzón B* más cercano a la posición del vástago en la *Placa sufridera* mediante tornillo **DIN 7984 M10x30 mm**.

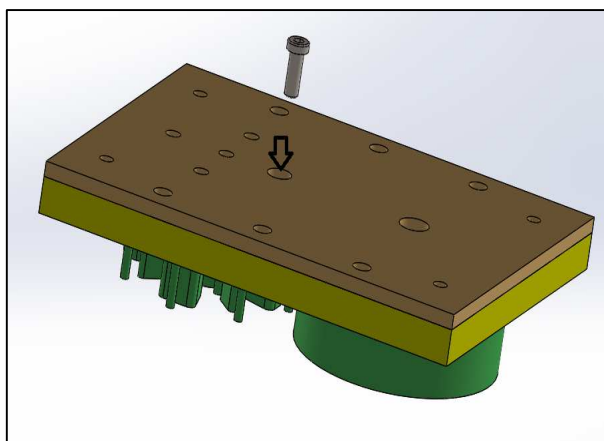
- 4) Inserción de los *Casquillos guía* en los agujeros de la *Placa superior*. Al igual que en el subconjunto central, se trata de un ajuste **H6/h4** que queda determinado por las tolerancias dimensionales establecidas para cada una de las piezas por el fabricante *INMACISA* (véase *Anexo C*).
- 5) Alineamiento entre los dos montajes paralelos anteriores. Pueden emplearse reglas, escuadras y elementos de fijación para realizar esta tarea.
- 6) Unión de *Placa porta punzones*, *Placa sufridera* y *Placa superior* mediante **6 tornillos DIN 7984 M12x60 mm** y **4 pasadores DIN 6325 Ø10 x70 mm**. El ajuste eje-agujero para los pasadores se realiza con un sistema ISO agujero único **H7/m6**. Se trata de un ajuste indeterminado de gran precisión con tendencia al apriete, empleado para piezas inmóviles entre sí, que pueden montarse y desmontarse con martillo sin deterioro.
- 7) Unión atornillada de 3 *punzones tipo B*, el *punzón tipo C* y el *punzón tipo E* a la placa base superior mediante tornillos **DIN 7984 M10x70 mm** para el caso de los primeros y **DIN 7984 M20x70 mm** para el punzón tipo E, el punzón extractor.
- 8) Roscado del *Vástago de sujeción* **DIN 9859 M30 mm** en el agujero roscado de la *Placa superior*.



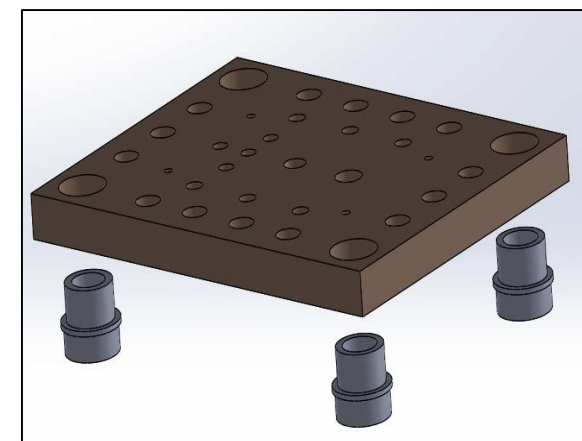
Secuencia 1



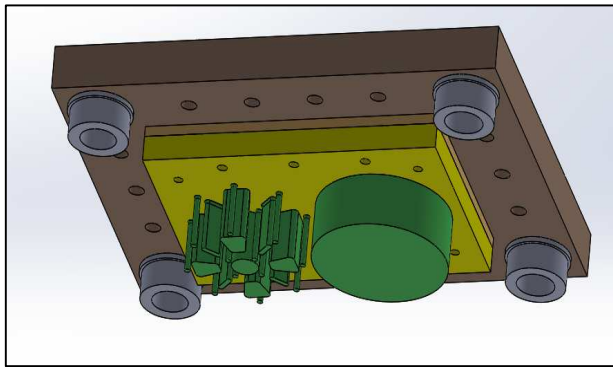
Secuencia 2



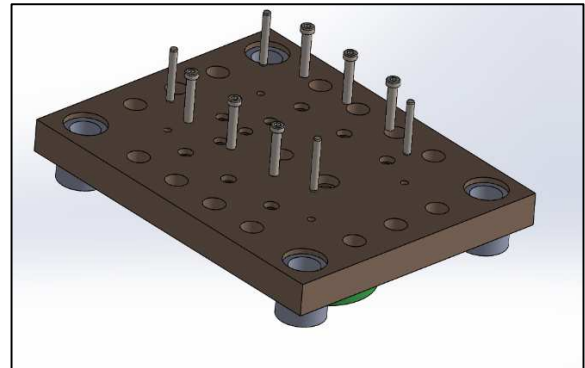
Secuencia 3



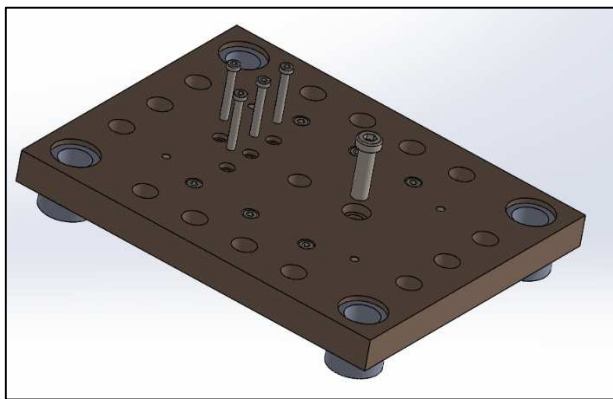
Secuencia



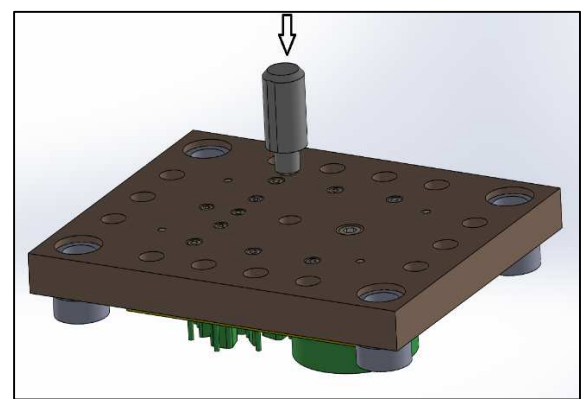
Secuencia 5



Secuencia 6



Secuencia 7



Secuencia 8

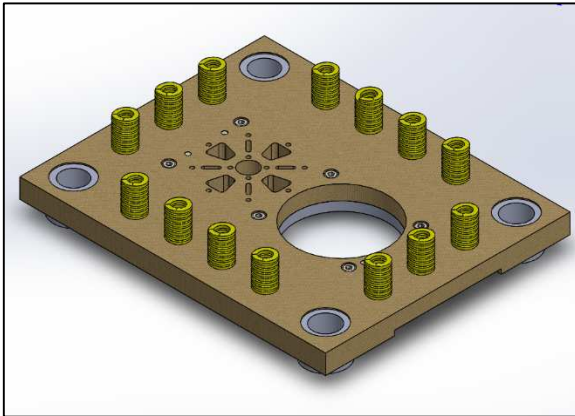
Figura 4.3. *Montaje subconjunto superior*

2.4. UNIÓN DE PARTES MÓVILES

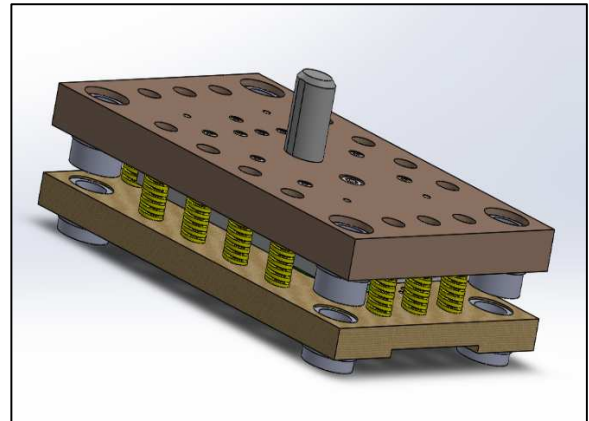
La unión entre los dos subconjuntos móviles (central y superior) se realiza mediante el sistema elástico de pisado y expulsión, empleando *Muelles* y *Topes guía*. Se sigue la siguiente secuencia:

- 1) Posicionado de muelles sobre *Placa guía punzones*.
- 2) Alineación entre *Subconjunto superior* y *Subconjunto central*.
- 3) Roscado de topes guía en la *Placa guía punzones*. Los topes guía se insertan por encima de la Placa superior y pasan por el interior de los muelles. El ajuste entre la espiga de los topes guía y los agujeros en la *Placa Superior* es **E9/h8**. Es un ajuste de precisión media y que permite funcionamiento sin engrase. Se aplica en condiciones de trabajo poco severas.
- 4) **Precargado** de *muelles* mediante apriete de *Topes guía*:

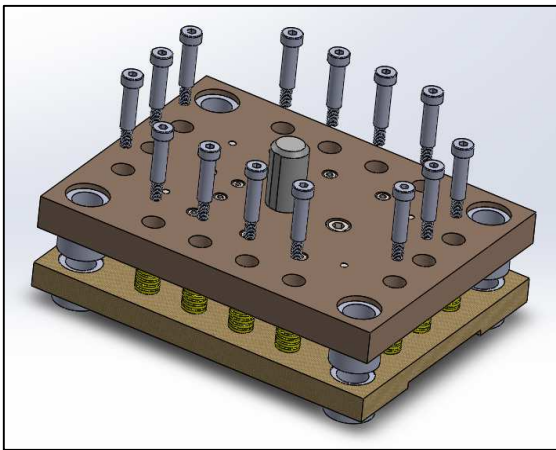
Mediante llave dinamométrica y aplicando un par de apriete se terminan de roscar los *Topes guía* hasta que su espiga llega a la *Placa guía punzones*. En ese momento, y gracias al diseño realizado de los orificios en la *Placa superior*, los muelles quedan precargados con la precarga necesaria de 2,2 mm.



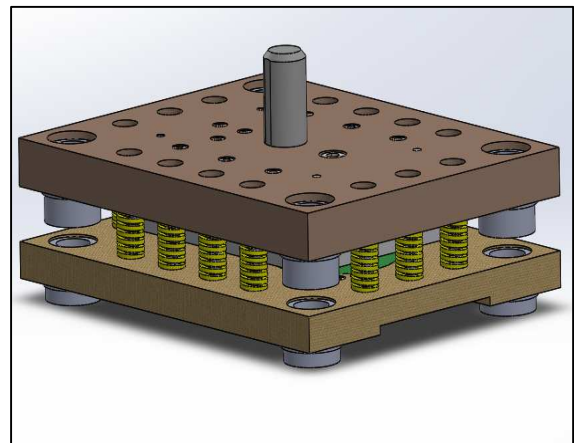
Secuencia 1



Secuencia 2



Secuencia 3



Secuencia 4

Figura 4.4. Unión de partes móviles

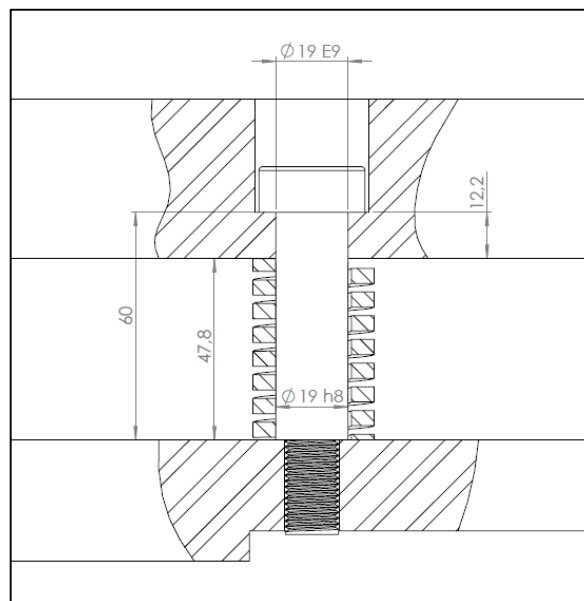
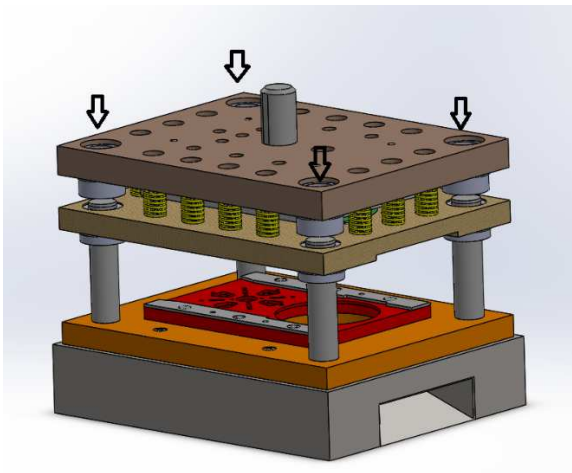


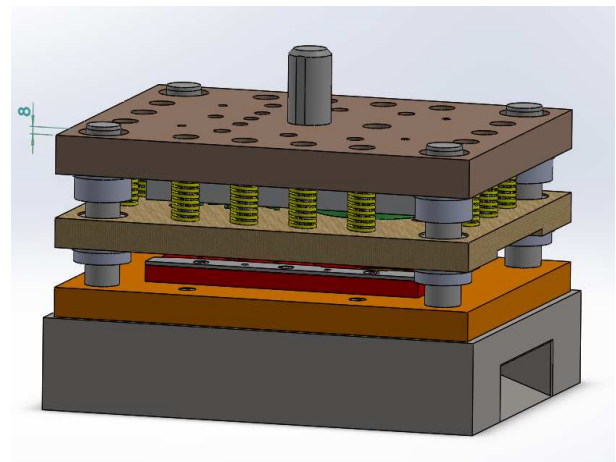
Figura 4.5. Detalle de unión partes móviles (Sin escala)

2.5. ENSAMBLAJE FINAL

- 1) Llevar la parte móvil (ya precargada) a la mesa de la prensa e introducir los *Casquillos guía* por las *Columnas guía*. El ajuste entre estos viene determinado por el fabricante *INMACISA*. Es un ajuste ISO **H6/h5**, que corresponde a un ajuste de gran precisión para piezas deslizantes entre sí, montable y desmontable a mano sin deterioro.
- 2) Unir el *Vástago de sujeción* al cabezal de la prensa, dejando en el punto muerto superior **8 mm** por seguridad entre el plano superior de la *Placa superior* y el plano superior de las *Columnas guía*.



Secuencia 1



Secuencia 2

Figura 4.6. *Ensamblado final del troquel diseñado*



3. PLIEGO DE CONDICIONES DE SEGURIDAD

3.1. SEGURIDAD LABORAL

La **seguridad laboral** es uno de los temas a los cuales no siempre se le dedica la atención que requiere. Prueba de ello es la gran cantidad anual de accidentes que ocurren en los puestos de trabajo

En el sector de la máquina herramienta y de la matricería los accidentes laborales suelen ser de **gravedad** acentuada debido a los filos y a las altas fuerzas producidas durante el corte. El uso inadecuado de las máquinas y herramientas, el exceso de confianza por rutina, la distracción eventual del operario y la deficiencia en el mantenimiento de los útiles son **factores de riesgo** que con frecuencia terminan en accidente.

La **normativa** aplicable en el ámbito de la maquinaria industrial es la siguiente:

- A nivel nacional, el **R.D. 1215/1997**, de **18 de julio**, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo.
- A nivel comunitario, la **Directiva 89/392/CEE** en la que se establece una aproximación de las legislaciones de los Estados Miembros sobre máquinas.
- **NORMA UNE-EN 692:2006+A1:2009**. Máquinas-herramienta. Prensas mecánicas. Seguridad.

El principio básico recogido en estos documentos es que el diseño de una máquina debe garantizar que **la zona de peligro** de una máquina o utillaje se encuentre **ubicada en una zona inaccesible** para el operario, o en su defecto, que cuente con los **medios de protección necesarios** para eliminar o reducir dicho peligro.

El reglamento sobre seguridad en máquinas establece tanto las **disposiciones mínimas de seguridad** requeridas por toda máquina como el **procedimiento a seguir** por los diseñadores y fabricantes de máquinas a fin de asegurar que las máquinas cumplan la normativa vigente.

Las medidas de seguridad se dividen en **medidas de prevención** y **medidas de protección**:

- Las **medidas de prevención** son intrínsecas a las máquinas. Desde el punto de vista del diseño no deben ofrecer peligro a los trabajadores. Las máquinas deben llevar medios de protección integrados como los resguardos fijos o los resguardos regulables.
- Las **medidas de protección** son medidas no integradas en la máquina, pero con una importancia muy elevada. A continuación, se citan las más relevantes:
 - a) **Formación** específica en el puesto de trabajo.
 - b) **Mantenimiento** eficaz, de cara a reducir las incidencias durante el funcionamiento.
 - c) Cumplimiento de **normas** internas del centro o empresa.
 - d) Empleo de **equipo de protección** individual.



3.2. RIESGOS PRESENTES EN EL TROQUELADO

Los principales riesgos existentes en el proceso de fabricación por troquelado con matriz progresiva son los siguientes:

- Riesgo de **aplastamiento o corte en manos o dedos** del operario en caso de introducir las manos entre placas o entre punzón y banda de chapa durante los ciclos de trabajo.
- Riesgo de **impacto** por la rotura de elementos de la matriz que puedan salir proyectados hacia el exterior del troquel.
- Riesgo de **atrapamiento** al introducir el operario las manos en el dispositivo alimentador de chapa cuando este se encuentre en funcionamiento.
- Riesgo de sufrir **dolencias auditivas y/o lesiones** a causa de las vibraciones producidas por la excitación que genera la prensa, que son transmitidas al operario a través del suelo.

Para evitar o minimizar estos riesgos se han de tomar ciertas **medidas de seguridad**, que se dividen en **medidas de prevención** y **medidas de protección**.

3.3. MEDIDAS DE PREVENCIÓN

Las medidas de prevención son medidas de seguridad intrínsecas de la **máquina**, que desde el punto de vista del diseño debe ofrecer el mínimo peligro para los operarios. Las medidas de prevención a seguir en procesos de troquelado son las siguientes:

- Pintar de **colores llamativos** las partes móviles de la máquina. Como colores estándar se utilizan el blanco o el amarillo, junto al negro, pintados en franjas oblicuas alternas sobre los cantos del elemento móvil que se desea destacar.
- Colocar protecciones adecuadas en aquellas zonas en las que operan los elementos de transmisión de la máquina, por ejemplo, alrededor del volante de inercia de la prensa.
- Colocar protecciones alrededor de las zonas en las que operan los elementos móviles de la máquina. Las protecciones pueden ser **físicas** (rejillas de chapa, pantallas de plástico, pantallas acristaladas...) o bien **electrónicas** (barreras fotoeléctricas, de infrarrojos...). La mayoría de troqueles van encerrados en una caja para así disminuir tanto el peligro de aplastamiento como el daño acústico.
- **Proteger el cableado** de todos los circuitos que contenga la máquina con tubos de blindaje para evitar riesgos por golpes o por aplastamiento.
- Proteger los sistemas de accionamiento de la máquina contra presiones accidentales. La normativa vigente exige el uso de **pedales** y **pulsadores** para el accionamiento de estas máquinas.
- Revisar la máquina antes de ponerla en funcionamiento y **respetar los planes de mantenimiento** periódico de sus componentes.



3.4. MEDIDAS DE PROTECCIÓN

Las medidas de seguridad de protección están directamente relacionadas con la **formación de los trabajadores** y con el **empleo de equipo de protección** en el área de trabajo. En líneas generales, las medidas de protección de los operarios consisten en:

- Empleo de **orejeras o tapones** para evitar daños auditivos y molestias debido a los altos niveles de ruido provocados por la máquina.
- Utilización de **calzado grueso** y **ropa de trabajo ajustada**. Para cualquier tarea de manipulación de chapa emplear **guantes** de piel y **mandiles** de cuero que eviten posibles cortes con el canto de las chapas.
- Toda máquina empleada para procesos de corte (prensa, cizalladora...) solo debe de ser manejada por **personal cualificado**.
- **Evitar cualquier interferencia** sobre la atención del operario durante los ciclos de trabajo. El uso del teléfono móvil en los puestos de trabajo ha aumentado en los últimos años y esto produce distracciones severas.
- No manejar máquinas bajo los efectos del **alcohol, drogas** o determinados **fármacos** (ver prospecto), que puedan producir euforia, confusión, somnolencia o alteraciones de la visión.
- Empleo de **gafas de protección** para que en el caso de que algún material salga proyectado no impacte en los ojos del operario.
- Empleo de útiles para la limpieza de la maquinaria, tales como **cepillos o pistolas de presión**.
- Los recortes de chapa o piezas que puedan quedarse atascadas en la matriz deben ser retiradas con **pinzas, tenazas, ganchos** u otras herramientas similares. De esa forma se evita el contacto directo de la mano del operario con zonas de peligro de la máquina.
- **Organización de talleres docentes** en relación a la seguridad laboral y a los peligros presentes durante el trabajo de cara a obtener una **formación continua** de los operarios en la materia. Esta tarea es la gran olvidada dentro de la mayoría de empresas, sin embargo, con un coste mínimo puede llegar a reducir notablemente el número de accidentes laborales en el ámbito de la manipulación de maquinaria. Debe dirigirse desde el **departamento de Recursos Humanos**.



4. PLIEGO DE CONDICIONES DE MANTENIMIENTO

Con el fin de **evitar problemas** en el proceso de fabricación mediante troquelado y **preservar** al máximo todos sus **componentes**, se debe aplicar un mantenimiento continuo al utillaje. Existen 3 tipos de mantenimiento (mantenimiento correctivo, preventivo y predictivo), siendo los dos primeros los más relevantes en este tipo de procesos.

El mantenimiento consiste en un conjunto de técnicas y sistemas que, en líneas generales, permiten:

- Reparar en el menor tiempo posible y de forma correcta las averías que se presenten. **MANTENIMIENTO CORRECTIVO.**
- Prevenir estas averías mediante revisiones periódicas, análisis estadístico, seguimiento y diagnóstico. **MANTENIMIENTO PREVENTIVO.**
- Especificar las normas de manipulación y funcionamiento para los operarios.
- Mejorar y perfeccionar los diseños posteriores a partir de datos obtenidos en fichas de mantenimiento y fases de pruebas del troquel (*feedback*).

El hecho de aplicar un sistema eficaz de mantenimiento se traduce en **3 grandes ventajas**:

- Reducción de accidentes laborales.
- Optimización del tiempo de trabajo.
- Aumento del tiempo de vida de la herramienta.

4.1. FASE DE PRUEBAS DEL TROQUEL

Antes de adentrarse en explicaciones relativas a los diferentes tipos de mantenimiento y a las directrices generales para llevarlos a cabo, es muy importante prestar atención a la fase que precede a la producción, la **fase de pruebas**.

En el proceso de diseño de cualquier componente (mecánico, eléctrico...) existen **3 etapas** diferenciadas: **DISEÑO, VALIDACIÓN y OPERACIÓN**. De todas ellas la última es la que más información puede llegar a aportar al diseñador, y es por esto que la fase de pruebas tiene una gran importancia.

Toda matriz encierra una gran posibilidad de generar problemas o fallos. Estas posibilidades son proporcionales al número y a la dificultad de transformaciones que realiza el utillaje.

Es conveniente confiar la fase de pruebas de la matriz a una persona **cualificada** y con **experiencia**, pues el ser conocedor de los puntos críticos a revisar es determinante durante la fase de pruebas. Esta fase tiene un **coste económico** (coste de materia prima, MOD y MOI), por lo que hay que extraer la mayor cantidad de datos posible de ella.



Cosas que **SI** deben hacerse durante la fase de pruebas del troquel:

- **Preparar** la matriz, la prensa, el sistema de alimentación y la materia prima con tiempo suficiente para realizar las pruebas.
- Disponer del plano de la pieza final, además del útil de medida y/o una muestra comparativa.
- Disponer de los medios necesarios para cambiar o **modificar** los **parámetros** de la máquina, como podrían ser la velocidad de avance del fleje o la frecuencia de empuje de la prensa.
- **Verificar la materia prima** antes de la realización de las pruebas (espesor, rugosidad, dureza, dimensiones...).
- **Anotar** todos los datos **obtenidos**, de forma lógica y ordenada, y analizarlos después de finalizar las pruebas. La mejor manera para ello es el empleo de *fichas para pruebas de matriz* como la que se mostrará a continuación.
- Tener especial cuidado para que las condiciones de trabajo durante las pruebas sean las mismas que las condiciones que se darán en producción posterior.

Cosas que **NO** deben hacerse durante la fase de pruebas del troquel:

- **No** iniciar las pruebas si la materia prima no está en **estado óptimo**.
- **No** tomar decisiones sobre los resultados obtenidos si los parámetros bajo los que está trabajando el utillaje no son los marcados en la hoja de trabajo.
- **No** continuar con las pruebas si algún elemento de la matriz se ha roto, deformado o se encuentra vibrando en exceso.
- **No** realizar menos de 1000 unidades de prueba para tiradas grandes, o alrededor de 200 para tiradas medias
- **No** plantear modificaciones en la matriz sin haber analizado todo el proceso paro a paso y haber estudiado los resultados obtenidos y anotados en *la ficha para pruebas de matriz*.

A continuación, se muestra un ejemplo de **ficha para pruebas de matriz**, del Centro Tecnológico ASCAMM, especialistas en procesos de conformación por troquelado, en la que pueden observarse especificaciones sobre el tipo de matriz, el sistema de alimentación, el tipo de materia prima a cortar... La hoja está dotada de huecos en la parte final para que el operario encargado de la extracción de datos en la fase de pruebas anote anomalías encontradas en los diferentes componentes del troquel, si las hubiese.



 ASCAMM Centro Tecnológico	FICHA PARA PRUEBAS DE MATRIZ
Nombre de la Matriz: Referencia: Número de Matriz: Probado por: Responsable: Fecha y firma:	<div style="border-bottom: 1px solid black; height: 20px; width: 100%;"></div> <div style="border-bottom: 1px solid black; height: 20px; width: 100%;"></div> <div style="border-bottom: 1px solid black; height: 20px; width: 100%;"></div> <div style="border-bottom: 1px solid black; height: 20px; width: 100%;"></div> <div style="border-bottom: 1px solid black; height: 20px; width: 100%;"></div>
Tipo de Matriz: Puente <input type="checkbox"/> Pisador <input type="checkbox"/> Coaxial <input type="checkbox"/>	Tipo de Matriz: Progresiva <input type="checkbox"/> Manual <input type="checkbox"/> Transfer <input type="checkbox"/>
Sistema de transformación: Manual <input type="checkbox"/> Semiautomático <input type="checkbox"/> Automático <input type="checkbox"/> Brazo de carga <input type="checkbox"/>	Ciclo de producción: Pruebas <input type="checkbox"/> Prototipos <input type="checkbox"/> Producción <input type="checkbox"/> Otros <input type="checkbox"/>
Sistema de trabajo: Alimentador <input type="checkbox"/> Bobina <input type="checkbox"/> Tiras de chapa <input type="checkbox"/> Mixto <input type="checkbox"/>	Tipos de material: Acero <input type="checkbox"/> Aluminio <input type="checkbox"/> Cobre <input type="checkbox"/> Inoxidable <input type="checkbox"/>
Piezas por golpe: Una <input type="checkbox"/> Dos <input type="checkbox"/> Tres <input type="checkbox"/> Cuatro o más <input type="checkbox"/>	Defectos en pieza: Rebabas de corte <input type="checkbox"/> Rebabas en material <input type="checkbox"/> Defectos en doblado <input type="checkbox"/> Grietas <input type="checkbox"/> Tolerancia inadecuada <input type="checkbox"/> Doblado deficiente <input type="checkbox"/> Material inadecuado <input type="checkbox"/> Defectos de embutición <input type="checkbox"/> Descentramientos <input type="checkbox"/> Otras anomalías <input type="checkbox"/>
Pieza obtenida: O.K. <input type="checkbox"/> No O.K. <input type="checkbox"/> Pendiente de informe C.D.C. <input type="checkbox"/> Otras anomalías <input type="checkbox"/>	<div style="border: 1px solid black; height: 80px; width: 100%;"></div>
Funcionamiento de la Matriz: O.K. <input type="checkbox"/> No O.K. <input type="checkbox"/> Irregular <input type="checkbox"/> Anomalías en banda <input type="checkbox"/> Anomalías en Pisador <input type="checkbox"/> Anomalías en punzones <input type="checkbox"/> Otras <input type="checkbox"/>	<div style="border: 1px solid black; height: 80px; width: 100%;"></div>

Figura 4.7. Ejemplo de ficha para pruebas de matriz

Fuente: Mantenimiento de matrices (ASCAMM)



4.2. DIRECTRICES GENERALES PARA EL MANTENIMIENTO

En este apartado se mencionarán algunos **consejos generales** sobre el mantenimiento en troqueles de matriz progresiva, siendo alguno de ellos de sentido común. Primero se van a exponer aquellas cosas que deben hacerse en el mantenimiento de troqueles y posteriormente aquellas acciones que deben evitarse con el fin de lograr un buen mantenimiento.

Cosas que **SI** deben hacerse en el mantenimiento del troquel:

- Rectificar o **recambiar todos los punzones** y no solo aquellos que presenten más signos de desgaste.
- Asegurarse de que todos los muelles trabajan en las mismas condiciones (altura, diámetro y durabilidad).
- Después de una parada por avería grave, **repetir la fase de pruebas** de matriz antes de volver a la fase de producción.
- Tener especial cuidado en que las condiciones de trabajo después del mantenimiento sean las mismas condiciones que en la fase previa al mantenimiento.
- Tener **disponibilidad de recambio** de aquellos elementos que presenten mayor riesgo de desgaste o rotura, como por ejemplo los punzones.

Cosas que **NO** deben hacerse en el mantenimiento del troquel:

- **No** hacer el mantenimiento del troquel sin desmontar todo el conjunto.
- **No aplicar soluciones provisionales** que puedan disminuir las condiciones de seguridad del proceso.
- **No confiar al azar** o a las suposiciones aquello que no esté totalmente asegurado.
- **No** rectificar solo uno de los 2 elementos cortantes, han de rectificarse siempre los dos, punzón y matriz.
- **No** plantear modificaciones en el troquel sin antes haber analizado todo el proceso de trabajo y estudiado las causas de fallo.

En líneas generales, las **claves** para un mantenimiento general eficaz son las siguientes:

- **Personal** correctamente **cualificado**.
- **Maquinaria adecuada** para realizar las tareas de mantenimiento.
- **Diseño apropiado** del troquel.



4.3.MANTENIMIENTO PREVENTIVO

El **mantenimiento preventivo** o *time-based* surge de la necesidad de minimizar los costes derivados de las reparaciones de las máquinas o sus componentes y de las consiguientes paradas de producción que esto conlleva.

El mantenimiento preventivo consiste en programar **revisiones periódicas** con el objeto de mantener tanto las máquinas como todos sus componentes en el mejor estado posible y reducir su probabilidad de fallo. Estas revisiones se llevan a cabo en intervalos regulares de tiempo, que se estiman inferiores al tiempo entre posibles averías.

Un correcto mantenimiento preventivo ha **de asegurar la detección** de todos y cada uno de los problemas que a corto plazo puedan producirse en el utillaje. Para lograrlo hay que poner especial atención en **revisar** y **sustituir** si fuera necesario todos aquellos componentes del troquel que por su desgaste o deterioro pudieran perjudicar la calidad y/o seguridad del proceso productivo.

4.3.1. Componentes críticos a revisar

Durante el mantenimiento preventivo del troquel existen una serie de componentes que deben ser revisados con más atención si cabe que el resto de componentes. Alguno de ellos, como por ejemplo los **punzones** y la **placa matriz**, han de ser meticulosamente revisados con el fin de controlar su grado de desgaste, el afilado de sus cantos, o bien detectar las fisuras que pudieran aparecer en su superficie debido al fenómeno de fatiga.

Sirvan como ejemplo algunos de los puntos a los que hay que prestar mayor atención durante la **fase de revisión**:

- Verificar el **desgaste** de todos y cada uno de los **punzones** de corte.
- **Comprobar el afilado** y vida de la **placa matriz**.
- Revisar la **tolerancia** de ajuste entre punzones y placa guía.
- Verificar la **tolerancia de corte** entre punzones y matriz.
- Comprobar el correcto **ajuste entre columnas y casquillos guía**.
- Revisar el estado de **fatiga de los resortes**.
- Verificar el **desgaste de las guías de banda**.
- Comprobar la **altura de los punzones**.
- Revisar el funcionamiento de los elementos recientemente cambiados en la matriz.

Pese a que los anteriores puntos dan una idea de los elementos o zonas críticas del funcionamiento del troquel, esto no debe ser excusa para omitir la revisión de otros elementos que sean menos críticos, como por ejemplo las placas superior e inferior del troquel.



4.3.2. Fichas de mantenimiento

Todos los resultados obtenidos de las revisiones de los componentes citados anteriormente han de ser recogidos de manera clara y ordenada. Para ello se emplean **fichas de control de mantenimiento** como las que se muestran en las siguientes figuras.

FICHA CONTROL MANTENIMIENTO						Ref:	
DENOMINACIÓN				F.Inicio	F.Acabado	Operario	Ficha
Código	COMPONENTE	horas	Código	COMPONENTE	horas		
MA	MATRIZ		VA	VARIOS			
MA1	Abrir matriz		VA1				
MA2	Limpieza exterior parte superior		VA2				
MA3	Limpieza exterior parte inferior		VA3				
MA4							
PSM	PARTE SUPERIOR MATRIZ		PIM	PARTE INFERIOR MATRIZ			
PSM1	Deformaciones base superior		PIM1	Deformaciones en base inferior			
PSM2	Marcas en sufridera		PIM2	Marcas en sufridera inferior			
PSM3	Deformaciones en porta punzones		PIM3	Deformaciones en placa matriz			
PSM4	Alojamientos de punzones		PIM4	Desgaste segmentos de matriz			
PSM5	Tolerancias de ajuste		PIM5	Vida de matriz			
PSM6	Punzones de corte		PIM6	Afilado de elementos cortantes			
PSM7	Afilados de punzones		PIM7	Radio de elementos de doblar			
PSM8	Punzones de doblar		PIM8	Radio casquillos de embutir			
PSM9	Gripaje en punzones		PIM9	Desgaste reglas guía			
PSM10	Punzones de embutir						
PSM11	Radio de punzones						
PSM12	Pulido de punzones						
PSM13	Punzones de figura						
PSM14	Pilotos centradores						
PP	PLACA PISADOR		PM	PLACA MATRIZ			
PP1	Deformaciones de placa		PM1	Deformaciones de placa			
PP2	Ajuste de punzones		PM2	Ajuste de segmentos			
PP3	Postizos templados		PM3	Calda de retales			
PP4	Asientos resortes		PM4	Calda de piezas			
PP5	Roscas limitadores						
PP6	Topes limitadores						
CCG	COLUMNAS Y CASQUILLOS GUIA		EEX	ELEMENTOS EXTRACTORES			
CCG1	Fijación de columnas		EEX1	Ajuste y guiado			
CCG2	Tolerancias de ajuste		EEX2	Resortes			
CCG3	Fijación de casquillos		EEX3	Barras extractoras			
CCG4	Tolerancias		EEX4	Gomas adiprene			
CCG5	Jaulas de bolas		EEX5	Cilindros de gas			
			EEX6	Deformaciones o marcas			
PU	PUNZONES		EPCJ	ELEMENTOS DE POSICION O CENTRAJE			
PU1	Verificar figura		EPCJ1	Alturas de centraje			
PU2	Verificar afilado		EPCJ2	Posicionamiento de pieza			
PU3	Desgaste centradores		EPCJ3	Desgaste de centradores			
PU4	Comprobar gripajes o marcas						
AMF	AJUSTE Y MONTAJE FINAL						
AMF1	Comprobación de elementos móviles (carros, cuñas, cilindros, etc.)						
AMF2	Comprobación de elementos de transporte (Tamaño, sujeción, etc)						
AMF3	Verificación limpieza y engrase gral.						
AMF4	Montaje etiqueta de identificación						
AMF5	Rampas y elementos auxiliares						
Describir el trabajo realizado que no figure en ficha:.....						Horas invert.
.....						Total M.O.
.....						Importe Mat.
.....						COSTE TOTAL
Material Empleado:.....						O.K.	FECHA
.....							
.....							



Nº de Matriz: Denominación: Constructor: Ref. Pieza:		Frecuencia: Mes : Año:	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31
DESCRIPCIÓN INTERVENCIÓN			
LIMPIEZA			
Parte inferior matriz Parte superior matriz			
CONTROL / VERIFICACIÓN VISUAL			
Placa extractora Cuiñas o carros móviles Columnas y casquillos guía Pernos de transporte Reglas guía Placa matriz Postizos matrickería Punzones generales Fachadores, anagramas, etc.			
ENGRASE			
Columnas, casquillos y ejes móviles Elementos de extracción y expulsión. Cuiñas y carros móviles. Otros.			

Figuras 4.8 y 4.9. Ejemplos de fichas de control de mantenimiento

Fuente: Mantenimiento de matrices (ASCAMM)



4.3.3. Causas de fallo de componentes

Las **4 causas** más comunes que suelen causar el fallo de componentes y la necesidad de recambiarlos son las siguientes: el **desgaste abrasivo**, el **desgaste adhesivo**, la **fatiga superficial** y el fallo por **deformaciones plásticas**.

- Desgaste abrasivo:

El desgaste abrasivo suele aparecer cuando el material a transformar presenta gran dureza y contiene partículas como óxidos o carburos. Estas partículas duras **erosionan** el plano superior de la **placa matriz**, degradándola progresivamente hasta que la superficie de trabajo presenta condiciones inferiores a las requeridas.

Visualmente se aprecian **zonas rayadas** en la placa matriz

Para evitarlo es necesario emplear para la matriz un acero tratado térmicamente y con una alta dureza superficial.

- Desgaste adhesivo:

Este fenómeno de desgaste se da debido a la aparición de micro soldadura entre la superficie de los punzones y el material a transformar. El deslizamiento relativo causa que las micro soldaduras vayan desprendiéndose, perdiendo así fragmentos de material de la herramienta.

Para reducir el desgaste adhesivo se emplean materiales de corte con alta dureza y se disminuye el coeficiente de fricción entre los sólidos empleando agentes lubricantes.

- Fatiga superficial:

Cuando un componente mecánico está sometido a **numerosos ciclos** de trabajo alternativos, en la superficie de los útiles (punzones, generalmente) comienzan a formarse fisuras.

La rotura se inicia en pequeños defectos o concentradores de tensión. Con cada ciclo de carga se produce un avance del frente de la grieta, por lo que la rotura se produce cuando la sección residual no soporta la carga estática.

De cara a reducir los fenómenos de fatiga, hay que tener especial cuidado en la etapa de **diseño de los punzones**, para **evitar** los grandes **concentradores de tensiones**, pues estos reducen considerablemente la resistencia del útil a fatiga.

- Deformaciones plásticas:

La deformación plástica de un componente aparece cuando las cargas a las que está sometido general unas tensiones tales que **superan el límite elástico** del material de la pieza. Cuando esto ocurre los útiles **no recuperan su forma original** y es necesario su recambio. Este tipo de fallos se da debido a las sobrecargas o al mal dimensionamiento o diseño de los útiles.



4.3.4. Limpieza y engrase del troque

El mantenimiento preventivo no se limita únicamente a tareas de revisión e inspección, sino que también está fuertemente ligado a tareas de **limpieza y engrase** de los elementos que componen el troquel, por todo lo explicado en el apartado anterior.

La limpieza y el engrase de todo el troquel es fundamental si se quiere que este siempre esté en perfecto estado de funcionamiento. Para la limpieza del troquel pueden emplearse **pistolas de aire a presión** mediante las cuales, sin necesidad de desmontar el troquel, pueden obtenerse buenos resultados.

La limpieza de todos los componentes, así como el engrase o lubricación general de todo el utillaje, permitirá que los elementos que lo componen no estén sometidos a posibles **oxidaciones** que podrían llegar a degradar las características mecánicas del material, las tolerancias de ajuste o el grado de acabado superficial.

Por otro lado, una buena lubricación reduce los rozamientos entre piezas, facilita la evacuación de calor y reduce el ruido generado. Como agentes de engrase o lubricantes generalmente se emplean **aceites sintéticos industriales**. La lubricación puede hacerse de forma manual, para troqueles de tamaño pequeño y mediano, o de forma automática con un equipo de engrase automático para el caso de troqueles de grandes dimensiones.

4.4. MANTENIMIENTO CORRECTIVO

El **mantenimiento correctivo** o *run to break* es el método tradicional en el cual el mantenimiento queda relegado a intervenciones como consecuencia de las averías que sufre la máquina de manera repentina. Las averías tienen como consecuencia los costes de reparación, así como los costes por las **paradas de producción**. Cuando únicamente se realiza un mantenimiento correctivo, el término "mantenimiento" se traduce en "reparación".

El objetivo de un buen mantenimiento preventivo es el de **reducir al máximo posible el mantenimiento correctivo**, ya que este tiene serios inconvenientes como las paradas en la producción o el **aumento del riesgo de accidentes laborales**. Por desgracia es imposible reducir las averías a 0 incluso realizando un perfecto mantenimiento preventivo, por lo que hay que estar capacitado para realizar un mantenimiento correctivo o de choque.

Reparar el componente o componentes averiados de forma rápida y a pie de máquina **no es tarea fácil**, incluso para una persona con una gran experiencia en el mundo de la matricería. El mantenimiento correctivo ha de ser rápido y eficaz.

Con el fin de facilitar y agilizar las labores de mantenimiento correctivo es recomendable tener en cuenta los siguientes puntos:

- Realizar un **diseño** del utillaje de **fácil mantenimiento**.
- Facilidad de acceso a todos los componentes.



- Disposición de recambios en el almacén de todos los elementos de fácil rotura o desgaste.
- Montaje de punzones y casquillos de cambio rápido.
- Disponibilidad de los **medios y herramientas** necesarias para el mantenimiento.
- Conocimiento del elemento antes de repararlo.
- Realización de las operaciones de mantenimiento por **operarios con experiencia y profesionalidad**.

Algunos de los puntos descritos relacionados con el diseño óptimo del utillaje no siempre se pueden cumplir, ya que los troqueles se diseñan desde un punto de vista funcional y la facilidad de mantenimiento muchas veces pasa a un segundo plano.

Otro punto a destacar es la disponibilidad de recambios de aquellos elementos más propensos a sufrir fenómenos de roturas o desgastes, por ejemplo, los punzones.

Se recomienda el **empleo de elementos comerciales** normalizados, debido a que, si uno de estos elementos falla, puede obtenerse uno nuevo en un periodo corto de tiempo. Ejemplo de estos elementos son las columnas guía, los casquillos deslizantes, los topes guía, el vástago de sujeción, los resortes helicoidales, los elementos de unión ...

En Pamplona, a 20 de junio de 2016.

Fdo: Alvaro Olcoz Alonso, estudiante de Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales.



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN

TRABAJO FIN DE GRADO

Titulación:

GRADO EN INGENIERÍA EN TÉCNOLOGÍAS INDUSTRIALES
(MENCIÓN MECÁNICA)

Título del proyecto:

“DISEÑO DE UN TROQUEL PROGRESIVO PARA LA
FABRICACIÓN DE DISCOS DE FRENO DE BICICLETA”

DOCUMENTO 5: PRESUPUESTO

Alvaro Olcoz Alonso

Tutora: Sara Marcelino Sadaba

Pamplona, Junio 2016



ÍNDICE DE CONTENIDO

1. OBJETO	2
2. DISEÑO DEL PROYECTISTA	2
3. COSTE DE MATERIALES	2
3.1. COSTE DE ELEMENTOS COMERCIALES	2
3.2. COSTE DE ELEMENTOS NO COMERCIALES	3
4. MONTAJE Y PRUEBAS	12
5. COSTE TOTAL DEL TROQUEL.....	12
6. PRECIO UNITARIO DE AMOTIZACIÓN DEL TROQUEL.....	13
6.1. COSTE MATERIA PRIMA.....	13
6.2. COSTE DE MANO DE OBRA DIRECTA	14
6.3. COSTE DE MANO DE OBRA INDIRECTA	14
6.4. VENTAS DE CHATARRA	14



1. OBJETO

En el presente documento se detallan los **costes** de diseño del proyectista, los costes de los materiales, tanto comerciales como no comerciales, y los costes de puesta en marcha y mantenimiento.

Se calcula el **coste total** del troquel diseñado y posteriormente el **precio al que se debe vender cada pieza** fabricada para amortizar el troquel produciendo aproximadamente 20000 unidades. Una vez obtenido el precio de venta unitario, este se compara con el precio medio de un disco de freno de acero inoxidable de gama media para comprobar la viabilidad económica.

2. DISEÑO DEL PROYECTISTA

En este apartado se estudian los **costes de oficina técnica**. En la siguiente tabla se observa el coste total en función del número de horas invertidas en cada fase del proyecto y del coste por hora trabajada. Se aplica un beneficio industrial del **9%**.

CONCEPTO	HORAS MANO OBRA	COSTO MANO OBRA (€/hora)	OTROS COSTOS (€)	TOTAL POR TAREA (€)
REALIZACIÓN NESTING	5	30	0	150
BUSQUEDA DE INFORMACIÓN	15	30	5	455
CÁLCULOS Y DISEÑO	90	30	0	2700
REALIZACIÓN DOCUMENTACIÓN TÉCNICA	90	30	25	2725
Subtotal bruto	200	-	30	6030
Beneficio industrial (9%)				543
Subtotal neto				6573
TOTAL (21% IVA)				7953

3. COSTE DE MATERIALES

En este apartado se presentan los costes de los materiales empleados para fabricar el troquel diseñado. Se ha distinguido entre los costes de los elementos comerciales y el de los no comerciales.

3.1. COSTE DE ELEMENTOS COMERCIALES

El coste de los elementos comerciales es el precio de venta que imponen los diferentes proveedores: *INMACISA*, *FIBRO* e *Hispanox*.

Los tornillos y pasadores se compran a la empresa *Hispanox*.

El vástago de sujeción se compra a la empresa alemana *FIBRO*, con un gasto de envío de 4,5€.

Los demás elementos se compran a la empresa *INMACISA*. Los topes guía se piden bajo pedido especial con un diámetro de espiga de 19 mm, que conlleva 0,99 €/Ud de coste adicional.



ELEMENTO	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (€)	OTROS COSTOS (€)	TOTAL POR ELEMENTO
Vástago DIN 9859 M30x108	1	16,7	4,5	21,20
Columna lisa Modelo F Ø40x220	2	17,47	0	34,94
Columna lisa Modelo F Ø42x220	2	17,87	0	35,74
Casquillo Valona Modelo M Ø40x65	2	29,10	0	58,20
Casquillo Valona Modelo M Ø42x65	2	29,10	0	58,20
Casquillo Valona Corta Modelo P Ø40x48	2	27,55	0	55,10
Casquillo Valona Corta Modelo P Ø42x48	2	27,55	0	55,10
Muelle DIN 17225 A38x50	14	6,38	0	89,32
Tope guía Modelo TGM M16x60	14	5,75	0,99	81,49
Tornillo DIN 965 M8x40	6	0,48	0	2,88
Tornillo DIN 7984 M12x60	10	0,87	0	8,70
Tornillo DIN 7984 M10x30	7	0,44	0	3,08
Tornillo DIN 7984 M10x70	4	0,93	0	3,72
Tornillo DIN 7984 M20x70	1	2,0	0	2,02
Pasador DIN 6325 Ø8x36	4	0,22	0	0,88
Pasador DIN 6325 Ø8x60	4	0,47	0	1,88
Pasador DIN 6325 Ø10x70	4	0,53	0	2,12
Subtotal (€)				514,57

3.2. COSTE DE ELEMENTOS NO COMERCIALES

Además de los elementos normalizados se han diseñado y fabricado las demás piezas que componen el troquel. Para calcular su coste se han tenido en cuenta los **costes del material**, los **tratamientos térmicos** empleados y los **costes de mecanizado**.

El proveedor de los tochos de acero es la empresa *ThyssenKrupp*. El precio es de: 3€/kg para el acero F1120, 3,5 €/kg para el acero F1140 y 6 €/kg para el acero F5220.

El precio de cada operación de mecanizado se ha establecido de la siguiente manera:

- Corte: 3,5 €/corte
- Fresado: 3,5 €/dm³
- Fresado de precisión: 12 €/dm³
- Torneado: 5 €/dm³
- Torneado de precisión: 14 €/dm³
- Taladrado: 4 €/dm³
- Rectificado: 15 €/dm³
- Electroerosionado: 5 €/dm³

También se han tenido en cuenta unos **costes indirectos** de mecanizado de **50 €/h** y se ha supuesto que la velocidad media de mecanizado es de 0,7 dm³/h (0,35 dm³/h si interviene proceso de electroerosión). El coste de tratamiento térmico de temple + revenido es de **4 €/kg** y si es necesario un recocido previo, de **5€/kg**.



ELEMENTO	CANTIDAD	MATERIAL	DIMENSIÓN BRUTA	MASA (Kg)	COSTE MATERIAL (€/Kg)	COSTO MATERIAL (€)	COSTE T.TÉRMICO (€)	COSTE MECANIZADO (€)	TOTAL POR ELEMENTO (€)
Contenedor	1	F-1120	520x420x100	160,124	3	480,37	0	387,11	867,48
Placa base inferior	1	F-1120	<i>Proviene de portamatrices</i>			160,27	0	93,99	254,26
Placa matriz	1	F-5220	340x250x28	18,564	6	111,38	56,83	220,61	388,83
Guías de banda	2	F-5220	340x50x15	1,989	6	11,93	1,80	14,40	56,27
Placa pisadora	1	F-1140	340x172x25	11,404	3,5	39,91	0	107,01	146,93
Placa guía punzones	1	F-1120	<i>Proviene de portamatrices</i>			160,27	0	127,77	288,04
Punzón tipo A	12	F-5220	∅12x85	0,075	6	0,45	0,25	4,03	56,68
Punzón tipo B	4	F-5220	35x40x82	0,895	6	5,37	4,50	14,79	98,67
Punzón tipo C	1	F-5220	∅36x82	0,651	6	3,91	2,42	4,05	10,37
Punzón tipo D	4	F-5220	32x20x82	0,409	6	2,46	1,35	6,95	43,01
Punzón tipo E	1	F-5220	∅160x85	13,330	6	79,98	58,11	23,30	161,40
Placa porta punzones	1	F-1140	340x250x34	22,542	3,5	78,90	0	235,18	314,07
Placa sufridera	1	F-5220	340x250x20	13,260	6	79,56	42,08	109,01	230,65
Placa superior	1	F-1120	<i>Proviene de portamatrices</i>			160,27	0	59,59	219,86
Subtotal	32								3136,52

Como costo de material para las placas base inferior, guía punzones y superior se ha tomado el precio del Portamatrices Modelo D N° 67 y se ha repartido en partes iguales. El precio del portamatrices es de **480,8 €**.



En las siguientes páginas se muestra de manera detallada el coste de mecanizado y tratamiento térmico para cada uno de los elementos no comerciales que hay que fabricar.

PIEZA	OPERACIÓN	Coste unitario operación	UD	Unidades	Coste total operación (€)	
Contenedor	Corte	3,5	€/corte	0	0	
	Fresado	3,5	€/dm3	4,22	14,77	
	Fresado de precisión	12	€/dm3	0,84	10	
	Torneado	5	€/dm3	0	0	
	Torneado de precisión	14	€/dm3	0	0	
	Taladrado	4	€/dm3	0,01	0,04	
	Rectificado	15	€/dm3	0	0	
	Electroerosionado	8	€/dm3	0	0	
	Coste directo mecanizado					24,89
	Volumen a mecanizar (dm3)				5,07	
	Velocidad de mecanizado		0,7	dm3/h		
	Coste indirecto mecanizado		50	€/h	7,24	362,21
	Coste total mecanizado					387,11
	Tratamiento térmico		4	€/kg	0	0

PIEZA	OPERACIÓN	Coste unitario operación	UD	Unidades	Coste total operación (€)	
Placa base inferior	Corte	3,5	€/corte	0	0	
	Fresado	3,5	€/dm3	1,19	4,17	
	Fresado de precisión	12	€/dm3	0	0	
	Torneado	5	€/dm3	0	0	
	Torneado de precisión	14	€/dm3	0	0	
	Taladrado	4	€/dm3	0,06	0,26	
	Rectificado	15	€/dm3	0	0	
	Electroerosionado	8	€/dm3	0	0	
	Coste directo mecanizado					4,42
	Volumen a mecanizar (dm3)				1,25	
	Velocidad de mecanizado		0,7	dm3/h		
	Coste indirecto mecanizado		50	€/h	1,79	89,57
	Coste total mecanizado					93,99
	Tratamiento térmico		4	€/kg	0	0



PIEZA	OPERACIÓN	Coste unitario operación	UD	Unidades	Coste total operación (€)	
Placa matriz	Corte	3,5	€/corte	0	0	
	Fresado	3,5	€/dm3	0,15	0,53	
	Fresado de precisión	12	€/dm3	0	0	
	Torneado	5	€/dm3	0	0	
	Torneado de precisión	14	€/dm3	0	0	
	Taladrado	4	€/dm3	0,010	0,040	
	Rectificado	15	€/dm3	0,80	12,00	
	Electroerosionado	8	€/dm3	0,47	3,76	
	Coste directo mecanizado					16,33
	Volumen a mecanizar (dm3)				1,43	
	Velocidad de mecanizado		0,35	dm3/h		
	Coste indirecto mecanizado		50	€/h	4,09	204,29
	Coste total mecanizado					220,61
	Tratamiento térmico		4	€/kg	14,21	56,83

PIEZA	OPERACIÓN	Coste unitario operación	UD	Unidades	Coste total operación (€)	
Guía de banda	Corte	3,5	€/corte	0	0	
	Fresado	3,5	€/dm3	0,18	0,63	
	Fresado de precisión	12	€/dm3	0	0	
	Torneado	5	€/dm3	0	0	
	Torneado de precisión	14	€/dm3	0	0	
	Taladrado	4	€/dm3	0,01	0,04	
	Rectificado	15	€/dm3	0	0,02	
	Electroerosionado	8	€/dm3	0	0	
	Coste directo mecanizado					0,69
	Volumen a mecanizar (dm3)				0,19	
	Velocidad de mecanizado		0,7	dm3/h		
	Coste indirecto mecanizado		50	€/h	0,27	13,71
	Coste total mecanizado					14,40
	Tratamiento térmico		4	€/kg	0,45	1,80



PIEZA	OPERACIÓN	Coste unitario operación	UD	Unidades	Coste total operación (€)	
Placa pisadora	Corte	3,5	€/corte	0	0	
	Fresado	3,5	€/dm3	0,12	0,42	
	Fresado de precisión	12	€/dm3	0,42	5,04	
	Torneado	5	€/dm3	0	0	
	Torneado de precisión	14	€/dm3	0	0	
	Taladrado	4	€/dm3	0,01	0,04	
	Rectificado	15	€/dm3	0,72	10,80	
	Electroerosionado	8	€/dm3	0	0	
	Coste directo mecanizado					16,30
	Volumen a mecanizar (dm3)				1,27	
	Velocidad de mecanizado	0,7	dm3/h			
	Coste indirecto mecanizado	50	€/h	1,81	90,71	
	Coste total mecanizado					107,01
	Tratamiento térmico	4	€/kg	0	0	

PIEZA	OPERACIÓN	Coste unitario operación	UD	Unidades	Coste total operación (€)	
Placa guía punzones	Corte	3,5	€/corte	0	0	
	Fresado	3,5	€/dm3	0	0	
	Fresado de precisión	12	€/dm3	0,80	9,60	
	Torneado	5	€/dm3	0	0	
	Torneado de precisión	14	€/dm3	0	0	
	Taladrado	4	€/dm3	0,01	0,03	
	Rectificado	15	€/dm3	0,70	10,50	
	Electroerosionado	8	€/dm3	0	0	
	Coste directo mecanizado					20,13
	Volumen a mecanizar (dm3)				1,51	
	Velocidad de mecanizado	0,7	dm3/h			
	Coste indirecto mecanizado	50	€/h	2,15	107,64	
	Coste total mecanizado					127,77
	Tratamiento térmico	4	€/kg	0	0	



PIEZA	OPERACIÓN	Coste unitario operación	UD	Unidades	Coste total operación (€)	
Punzón tipo A	Corte	3,5	€/corte	1	3,5	
	Fresado	3,5	€/dm3	0	0	
	Fresado de precisión	12	€/dm3	0	0	
	Torneado	5	€/dm3	0,003	0,02	
	Torneado de precisión	14	€/dm3	0,004	0,05	
	Taladrado	4	€/dm3	0	0	
	Rectificado	15	€/dm3	0	0	
	Electroerosionado	8	€/dm3	0	0	
	Coste directo mecanizado					3,56
	Volumen a mecanizar (dm3)				0,01	
	Velocidad de mecanizado		0,70	dm3/h		
	Coste indirecto mecanizado		50	€/h	0,009	0,46
	Coste total mecanizado					4,03
	Tratamiento térmico		5	€/kg	0,05	0,25

PIEZA	OPERACIÓN	Coste unitario operación	UD	Unidades	Coste total operación (€)	
Punzón tipo B	Corte	3,5	€/corte	1	3,5	
	Fresado	3,5	€/dm3	0	0	
	Fresado de precisión	12	€/dm3	0	0	
	Torneado	5	€/dm3	0	0	
	Torneado de precisión	14	€/dm3	0	0	
	Taladrado	4	€/dm3	0,01	0,02	
	Rectificado	15	€/dm3	0	0	
	Electroerosionado	8	€/dm3	0,07	0,56	
	Coste directo mecanizado					4,08
	Volumen a mecanizar (dm3)				0,08	
	Velocidad de mecanizado		0,35	dm3/h		
	Coste indirecto mecanizado		50	€/h	0,21	10,71
	Coste total mecanizado					14,79
	Tratamiento térmico		5	€/kg	0,90	4,50



PIEZA	OPERACIÓN	Coste unitario operación	UD	Unidades	Coste total operación (€)	
Punzón tipo C	Corte	3,5	€/corte	0	0	
	Fresado	3,5	€/dm3	0	0	
	Fresado de precisión	12	€/dm3	0	0	
	Torneado	5	€/dm3	0,021	0,11	
	Torneado de precisión	14	€/dm3	0,011	0,15	
	Taladrado	4	€/dm3	0,02	0,08	
	Rectificado	15	€/dm3	0	0	
	Electroerosionado	8	€/dm3	0	0	
	Coste directo mecanizado					0,34
	Volumen a mecanizar (dm3)				0,05	
	Velocidad de mecanizado		0,7	dm3/h		
	Coste indirecto mecanizado		50	€/h	0,07	3,71
	Coste total mecanizado					4,05
	Tratamiento térmico		5	€/kg	0,48	2,42

PIEZA	OPERACIÓN	Coste unitario operación	UD	Unidades	Coste total operación (€)	
Punzón tipo D	Corte	3,5	€/corte	1	3,50	
	Fresado	3,5	€/dm3	0	0	
	Fresado de precisión	12	€/dm3	0,02	0,28	
	Torneado	5	€/dm3	0	0	
	Torneado de precisión	14	€/dm3	0	0	
	Taladrado	4	€/dm3	0,02	0,08	
	Rectificado	15	€/dm3	0	0	
	Electroerosionado	8	€/dm3	0	0	
	Coste directo mecanizado					3,86
	Volumen a mecanizar (dm3)				0,04	
	Velocidad de mecanizado		0,7	dm3/h		
	Coste indirecto mecanizado		50	€/h	0,06	3,09
	Coste total mecanizado					6,95
	Tratamiento térmico		5	€/kg	0,27	1,35



PIEZA	OPERACIÓN	Coste unitario operación	UD	Unidades	Coste total operación (€)	
Punzón tipo E	Corte	3,5	€/corte	0	0	
	Fresado	3,5	€/dm3	0	0	
	Fresado de precisión	12	€/dm3	0	0	
	Torneado	5	€/dm3	0,12	0,59	
	Torneado de precisión	14	€/dm3	0,16	2,31	
	Taladrado	4	€/dm3	0,002	0,01	
	Rectificado	15	€/dm3	0	0	
	Electroerosionado	8	€/dm3	0	0	
	Coste directo mecanizado					2,91
	Volumen a mecanizar (dm3)				0,29	
	Velocidad de mecanizado	0,7	dm3/h			
	Coste indirecto mecanizado	50	€/h	0,41	20,39	
	Coste total mecanizado					23,30
	Tratamiento térmico	5	€/kg	11,62	58,11	

PIEZA	OPERACIÓN	Coste unitario operación	UD	Unidades	Coste total operación (€)	
Placa porta punzones	Corte	3,5	€/corte	0	0	
	Fresado	3,5	€/dm3	0,56	1,97	
	Fresado de precisión	8	€/dm3	0	0	
	Torneado	5	€/dm3	0	0	
	Torneado de precisión	14	€/dm3	0	0	
	Taladrado	4	€/dm3	0,02	0,07	
	Rectificado	15	€/dm3	0,94	14,03	
	Electroerosionado	8	€/dm3	0,02	0,13	
	Coste directo mecanizado					16,20
	Volumen a mecanizar (dm3)				1,53	
	Velocidad de mecanizado	0,35	dm3/h			
	Coste indirecto mecanizado	50	€/h	4,38	218,98	
	Coste total mecanizado					235,18
	Tratamiento térmico	4	€/kg	0	0	



PIEZA	OPERACIÓN	Coste unitario operación	UD	Unidades	Coste total operación (€)	
Placa sufridera	Corte	3,5	€/corte	0	0	
	Fresado	3,5	€/dm3	0,51	1,79	
	Fresado de precisión	12	€/dm3	0	0	
	Torneado	5	€/dm3	0	0	
	Torneado de precisión	14	€/dm3	0	0	
	Taladrado	4	€/dm3	0,02	0,08	
	Rectificado	15	€/dm3	0,80	12	
	Electroerosionado	8	€/dm3	0	0	
	Coste directo mecanizado					13,87
	Volumen a mecanizar (dm3)				1,33	
	Velocidad de mecanizado	0,7	dm3/h			
	Coste indirecto mecanizado	50	€/h	1,90	95,14	
	Coste total mecanizado					109,01
	Tratamiento térmico	4	€/kg	10,52	42,08	

PIEZA	OPERACIÓN	Coste unitario operación	UD	Unidades	Coste total operación (€)	
Placa superior	Corte	3,5	€/corte	0	0	
	Fresado	3,5	€/dm3	0	0	
	Fresado de precisión	12	€/dm3	0	0	
	Torneado	5	€/dm3	0	0	
	Torneado de precisión	14	€/dm3	0	0	
	Taladrado	4	€/dm3	0,79	3,16	
	Rectificado	15	€/dm3	0	0	
	Electroerosionado	8	€/dm3	0	0	
	Coste directo mecanizado					3,16
	Volumen a mecanizar (dm3)				0,79	
	Velocidad de mecanizado	0,7	dm3/h			
	Coste indirecto mecanizado	50	€/h	1,13	56,43	
	Coste total mecanizado					59,59
	Tratamiento térmico	4	€/kg	0	0	



Teniendo en cuenta el coste de los elementos comerciales y el de los no comerciales, se calcula el **coste total de los materiales**:

Coste elementos comerciales (€)	514,57
Coste elementos no comerciales (€)	3136,52
<i>Subtotal (€)</i>	<i>3651,09</i>
TOTAL (€) (21% IVA)	4417,82

4. MONTAJE Y PRUEBAS

Al realizar el montaje y las pruebas previas de funcionamiento también se consumen recursos y su coste debe ser tenido en cuenta.

CONCEPTO	HORAS MANO OBRA	COSTO MANO OBRA (€/hora)	COSTE MATERIAL (€)	TOTAL POR TAREA (€)
MONTAJE	10	25	15	265
REALIZACIÓN DE AJUSTES	6	25	15	165
FASE DE PRUEBAS	16	25	50	450
<i>Subtotal</i>	32	-	80	880
TOTAL (21% IVA)				1065

5. COSTE TOTAL DEL TROQUEL

El coste total del troquel se calcula como la suma de los costes de diseño del proyectista, los costes de materiales y costes de montaje y pruebas:

	COSTE (€)
DISEÑO DEL PROYECTISTA	7953
COSTE MATERIALES	4417,82
MONTAJE Y PRUEBAS	1065
TOTAL	13435,59

El coste total del troquel diseñado en este proyecto es de **13435,59 €**.

6. PRECIO UNITARIO DE AMOTIZACIÓN DEL TROQUEL

En este apartado se calcula el precio de venta unitario del disco de freno fabricado para amortizar la inversión del troquel produciendo **19920 piezas**. Para ello se impone la siguiente igualdad:

$$\text{Coste troquel} + \text{Coste materia prima} + \text{MOD} + \text{MOI} = \text{Venta de piezas} + \text{Venta de chatarra}$$

En los siguientes apartados se calculan cada uno de los elementos que aparecen en la igualdad anterior:

6.1. COSTE MATERIA PRIMA

El coste de la materia prima es un **coste variable**, pues aumenta conforme aumenta la producción de piezas:

- La materia prima (chapa) se compra a 1,5 €/kg.
- Por cada chapón de 1220x2400 se producen 120 piezas.
- Son necesarios $19920/120 = 166$ chapones de acero.
- Para un espesor de 1,2 mm cada chapa tiene un peso de 29 kg.
- El coste de materia prima se calcula como: $29 \cdot 166 \cdot 1,5 = 7221 \text{ €}$

CHAPAS LAMINADAS EN FRIO SAE 1008/1010

Nro Espesor	Equivalencias en mm	Peso por Unidad		
		1000 X 2000	1200 X 2400	1220 X 2400
30	0,30	4,880		
28	0,35	5,670		
27	0,40	6,480	9,100	9,467
26	0,45	7,290	10,200	10,672
	0,50	8,100	11,300	11,880
24	0,55	9,000	13,500	13,944
	0,60	10,000	13,000	14,467
22	0,70	11,340	15,800	16,602
	0,75	12,150	17,000	17,788
	0,80	13,068		19,132
20	0,90	14,000	21,000	21,345
19	1,00	17,172		25,139
18	1,20	19,000	28,000	29,000
	1,50	24,000	35,000	35,575
16	1,60	25,000	36,200	38,000
14	2,00	34,000	45,200	50,800
12	2,50	41,513	56,500	62,000
	2,65	44,003	60,000	64,137



6.2. COSTE DE MANO DE OBRA DIRECTA

El coste de mano de obra directa (MOD) es un **coste variable**, pues representa la retribución económica que recibe el operario matricero encargado del proceso de troquelado. Se ha tomado un valor de **15 €/h** de coste de mano de obra directa.

Para calcular el coste total de mano de obra directa es necesario saber la cantidad de horas necesarias para producir las 19920 piezas.

- Cálculo del número de horas de producción

Como parámetros de trabajo se supone que la prensa ejerce 60 golpes/min (1 Hz), que el tiempo de cambio de banda es de 1 minuto y que al operario le cuesta 1 minuto cizallar cada banda de chapa.

El número de bandas de chapa es de 166 chapones \cdot 15 bandas/chapón = 2490 bandas

El tiempo necesario para producir 19920 piezas es de:

$$t \text{ (min)} = 19920/60 + 2490 \cdot (1 \text{ min} + 1 \text{ min}) = 5312 \text{ min}$$

$$t \text{ (horas)} = t \text{ (min)}/60 = 88,53 \text{ h} \rightarrow \underline{89 \text{ horas}}$$

El coste de mano de obra directa es pues: $15 \text{ €/h} \cdot 89 \text{ h} = \mathbf{1335 \text{ €}}$

6.3. COSTE DE MANO DE OBRA INDIRECTA

El coste de mano de obra indirecta es un **coste variable** que refleja los costes de la hora de fábrica: agrupa los costes de limpieza, suministro eléctrico, calefacción, línea de agua ...

Se ha tomado un valor de 20 €/h para los costes de mano de obra indirecta.

Una vez conocidas las horas de producción, el coste de mano de obra indirecta se calcula como: $20 \text{ €/h} \cdot 89 \text{ h} = \mathbf{1780 \text{ €}}$

6.4. VENTAS DE CHATARRA

Los recortes sobrantes en el proceso pueden venderse a 0,15 €/kg de cara a ser reciclados. A continuación se calcula la retribución por la venta de chatarra:

- La superficie superior de la pieza es de 13558 mm^2 .
- La superficie de 120 piezas es de $13558 \cdot 120 = 1626960 \text{ mm}^2$.
- El peso de la chatarra para cada chapón 1220×2400 puede calcularse como:

$$\frac{1220 \cdot 2400 - 1626960}{1220 \cdot 2400} \cdot 29 = 12,88 \text{ kg}$$

- El peso total de la chatarra es de $12,88 \text{ kg/chapón} \cdot 166 \text{ chapones} = 2138 \text{ kg}$.
- El beneficio de la chatarra es de $2138 \cdot 0,15 = \mathbf{320,7 \text{ €}}$



El precio unitario de venta se calcula aplicando la igualdad:

$$\text{Coste troquel} + \text{Coste materia prima} + \text{MOD} + \text{MOI} = \text{Venta de piezas} + \text{Venta de chatarra}$$

Sustituyendo todos los campos calculados, se tiene 1 incógnita.

$$13435,59 + 7221 + 1335 + 1780 = 19920 \cdot \text{Precio} + 320,7$$

Resolviendo la ecuación se obtiene el precio de venta de amortización del troquel:

$$\text{Precio unitario} = 1,18 \text{ €}$$

Como puede observarse el precio de venta unitario para la amortización del troquel es bajo en comparación al precio medio de discos de freno de gama media de acero inoxidable, que es de en torno a **30€ en tienda** y **20€ en fábrica**

Hay que tener en cuenta que el disco de freno no se vende tal y como sale del proceso de corte. Es necesario darle un tratamiento de recocido de eliminación de tensiones residuales debidas a la deformación plástica en frío. En ocasiones puede ser también necesario un pulido.

En Pamplona, a 20 de junio de 2016.

Fdo: Alvaro Olcoz Alonso, estudiante de Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales.



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN

TRABAJO FIN DE GRADO

Titulación:

GRADO EN INGENIERÍA EN TÉCNOLOGÍAS INDUSTRIALES
(MENCIÓN MECÁNICA)

Título del proyecto:

“DISEÑO DE UN TROQUEL PROGRESIVO PARA LA
FABRICACIÓN DE DISCOS DE FRENO DE BICICLETA”

ANEXOS

Alvaro Olcoz Alonso

Tutora: Sara Marcelino Sadaba

Pamplona, Junio 2016

ANEXO A

Tratamientos térmicos en aceros para herramientas

- Recocido de eliminación de tensiones
- Temple
- Revenido

Una de las últimas operaciones en el proceso de fabricación de las herramientas es el **tratamiento térmico**. Los tratamientos térmicos son procedimientos que tienen por finalidad mejorar o alcanzar propiedades y características en los materiales a partir de la consecución de una microestructura deseada.

Cuando se requiere una dureza superficial especialmente alta también se emplean los denominados **tratamientos termoquímicos** (nitruración, cementación, etc).

Los mecanismos del tratamiento térmico requieren la habilidad de un **personal técnico altamente cualificado**. Los valores experimentales y teóricos, permiten asegurar las propiedades resultantes cada acero después de ser sometido a un correcto tratamiento térmico.

Los principales tratamientos térmicos a los que se someten los aceros para herramientas son los siguientes:

1. Recocido de eliminación de tensiones

Las herramientas propensas a las deformaciones y aquellos útiles con grandes mecanizados, se someten a un recocido ($600 \div 650 \text{ }^\circ\text{C}$) después del mecanizado previo de la herramienta. Con este recocido se suprimen las tensiones direccionales o de mecanizado (tensiones residuales), que pueden producir cambios dimensionales y deformaciones inadmisibles, e incluso fisuras y grietas durante el proceso de temple.

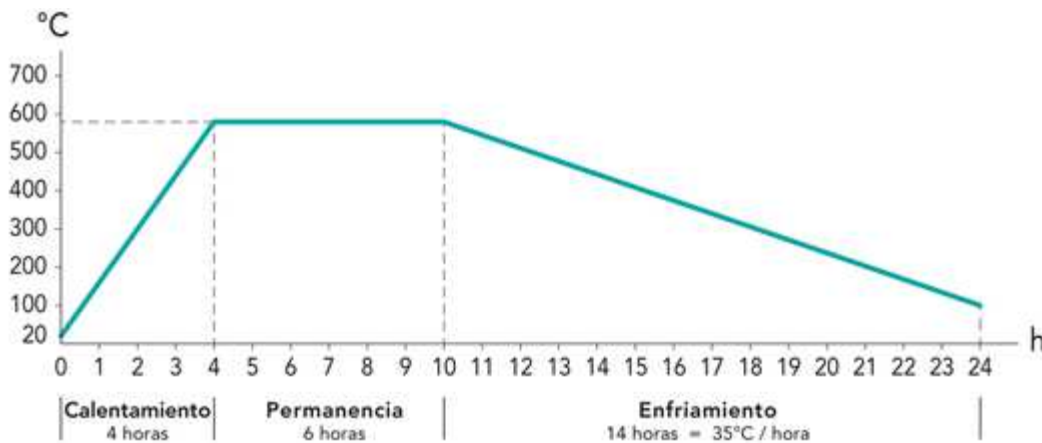


Diagrama T-t para el recocido de eliminación de tensiones

2. Temple

Según la ASM, el temple es el **enfriamiento rápido del acero desde una temperatura elevada**. En general, esto se logra sumergiendo la pieza en **agua, aceite, sal** o aplicando **aire comprimido** (medios de enfriamiento). Como resultado del temple, las partes deben desarrollar una microestructura aceptablemente dura (generalmente martensita). Después de este tratamiento se recomienda **revenir** la pieza.

La estructura del acero resultante del temple (martensita) se puede considerar como una microestructura inicial, susceptible de ser modificada por el revenido posterior.

Los factores de los que depende el temple son de importancia decisiva; por eso es importante que a cada paso del proceso se le dé un gran cuidado y consideración.

El éxito de una pieza templada depende de cuatro factores principales: **buen acero** inicial, **buen diseño** de la pieza, **buen tratamiento térmico** y **buen comportamiento en servicio**.

El tratamiento térmico depende de la composición del acero y de su mecanizado posterior. La elección del tratamiento no se puede hacer correctamente sino se conoce el material, así, por ejemplo, un acero de temple en aceite se agrieta si se temple en agua y un acero de temple en agua no se endurece en aceite.

Los factores más importantes que se consideran en el temple son:

1. Calentamiento.
2. Temperatura de austenización.
3. Tiempo de sostenimiento a la temperatura de austenización.
4. Medios de enfriamiento.

ACEROS / Según normas					TRATAMIENTOS TÉRMICOS				
Grupo	UNE-EN		DIN Stand Nº	AISI	Tº DE TEMPLE	MEDIO DE TEMPLE	Tº DE REVENIDO	Nº DE REV.DOS.	DUREZA (HRC) DE EMPLEO
	Númerica	Simbólica							
I	F-5247	60SiMoCr8	≈ 1.2103	S5	880 °C	Acetite	200 °C	1	55 + 57
	F5242	80WCrV8	1.2550	S1	920 °C	Acetite	200 °C	1	54 + 58
	F-5305	40NiCrMoV16	≈ 1.2787	—	890 °C	Acetite / Sales	200 °C	1	53 + 55
II	F-5220	95MnCrW5	1.2510	O 1	800 °C	Acetite	200 °C	1	58 + 60
	F-5317	X37CrMoV5.1	1.2343	H11	1020 °C	Acetite	500 °C	2	52 + 54
	F-5318	X40CrMoV5.1	1.2344	H13	1020 °C	Acetite	500 °C	2	53 + 55
	F-5227	X100CrMoV5	1.2376	A2	1000 °C	Acetite / Sales	500 °C	2	59 + 61
	F5211	X160CrMoV12	1.2379	D2	1000 °C	Acetite / Sales	500 °C	2	60 + 62
III	F5214	X210CrMoV12	1.2378	D4	990 °C	Acetite / Sales	200 °C	1	60 + 62
	F-5603	HS 6-5-2	1.3343	M2	1200 °C	Acetite / Sales	860 °C	2 + 3	63 + 65
	F-5605	HS 6-5-4	1.3344	M4	1200 °C	Acetite / Sales ^(*)	880 °C	2 + 3	64 + 68

Consideraciones para el temple en función del acero empleado

Existen diversas técnicas dentro del tratamiento térmico de temple: el temple ordinario, el temple interrumpido, *Martempering*, *Austempering*...

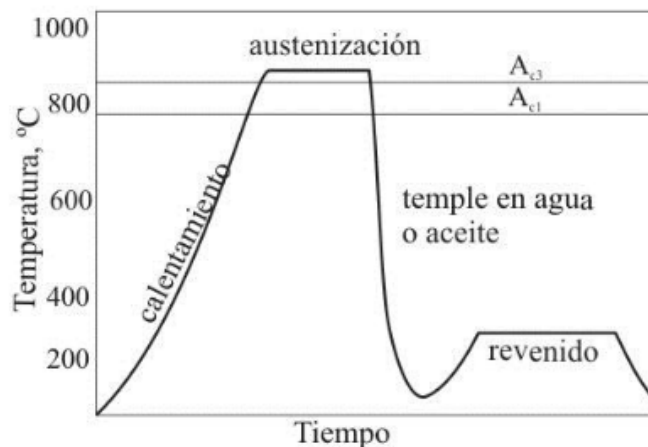


Diagrama T-t para temple ordinario con revenido posterior

3. Revenido

La estructura martensítica obtenida por temple es **muy dura** y **frágil**. Mediante el revenido es posible aumentar significativamente su resistencia al impacto, aun cuando se disminuye la dureza. El revenido también alivia las tensiones residuales producidas por el enfriamiento brusco de temple.

El **revenido** consiste en calentar una pieza templada por períodos del orden de 1 a 3 horas a temperaturas menores que la temperatura de austenitización. Primero se calienta el acero a una temperatura levemente superior a la de austenitización (A3 o Acm). Luego es enfriado rápidamente, de modo que no se corte la nariz de las curvas TTT, para formar una estructura martensítica. Posteriormente, el acero es recalentado a una temperatura inferior a A1 para obtener la dureza deseada.

El resultado del revenido se traduce en un cambio estructural del acero y alivio de las tensiones residuales procedentes del temple, que mejoran la vida de las herramientas y les da una mayor tenacidad.

El revenido puede aplicarse en una sola etapa o en 2 o 3 etapas, en función de la tipología del acero tratado

En la siguiente figura se puede apreciar un diagrama T-t que contempla todos los tratamientos térmicos a los que puede someterse un acero para herramientas.

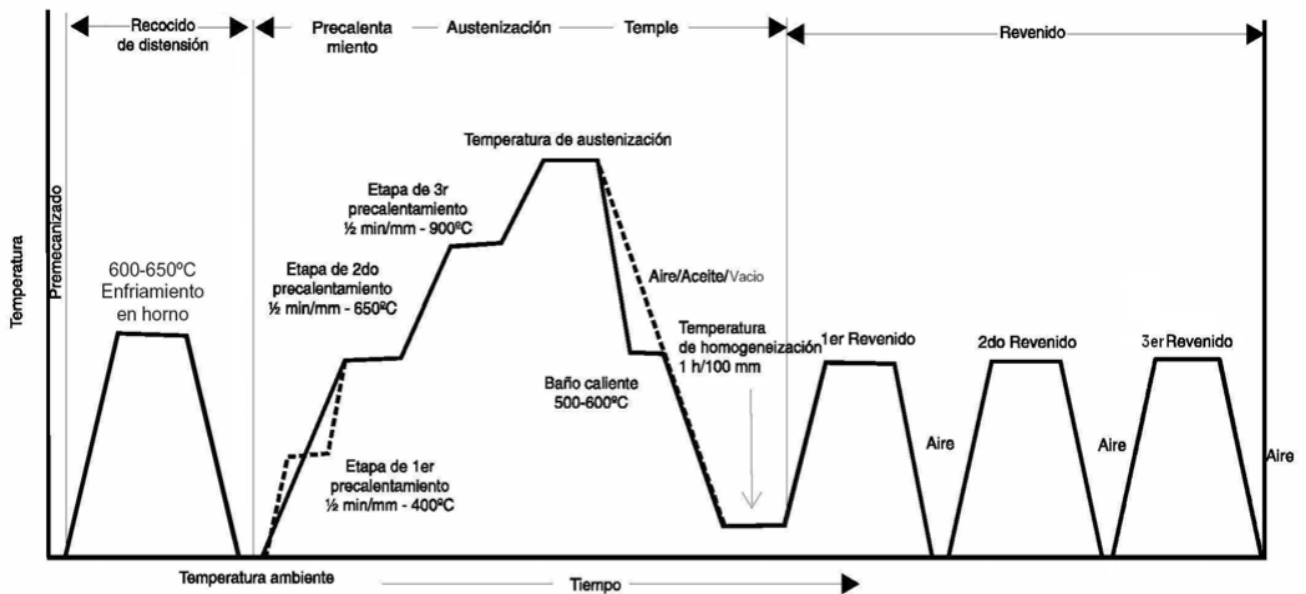


Diagrama global T-t del acero para herramientas AISI D2 (para trabajo en frío)

ANEXO B

Mecanizado por electroerosión

- Electroerosión por penetración
- Corte por hilo (*WEDM*)
- Taladrado rápido

El **mecanizado por electroerosión** (EDM) es un proceso de fabricación que se engloba dentro de los procesos de fabricación no convencionales (**PFNC**). Está basado en la eliminación de material mediante una serie de **descargas eléctricas** repetitivas, que tienen lugar entre herramienta y pieza. Todo esto se realiza en presencia de un **fluido dieléctrico**.

Este fluido dieléctrico hace posible evacuar las partículas erosionadas del gap. Mantener esta limpieza es de extrema importancia. El fluido generalmente se almacena en un tanque que se haya conectado, mediante un sistema de tuberías, a un depósito suministrador de dieléctrico y a un sistema de filtrado. Las **funciones** principales del fluido dieléctrico son las siguientes:

- **Limpiar y evacuar** los restos de partículas electroerosionadas.
- **Refrigerar** el área que se calienta durante el proceso de mecanizado.
- **Proporcionar un medio aislante** en el gap de trabajo entre el electrodo y la pieza a erosionar.

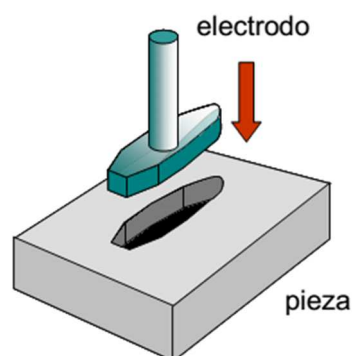
Los tipos de fluidos más utilizados son los **aceites minerales** y el **agua**, previamente **desionizada**. También pueden emplearse **soluciones acuosas de compuestos orgánicos** (glúcidos, alcoholes y polímeros) o un **medio gaseoso** (generalmente aire u oxígeno).

Se han formulado **diversas teorías** que intentan explicar este complejo proceso de fabricación. De entre todas ellas, la **teoría termo-eléctrica** es la mejor sustentada de las tres por los datos experimentales y sugiere que la eliminación de material ocurre como consecuencia de la **elevada temperatura** que se genera, debido a la elevada intensidad de corriente de descarga,

Existen **3 variantes** dentro del mecanizado por electroerosión:

1. Electroerosión por penetración

La electroerosión por penetración es la variante más sencilla del proceso de electroerosión. Mediante este proceso se reproduce en la pieza a mecanizar la forma del electrodo empleado. La pieza se haya sumergida en el medio dieléctrico. Los electrodos empleados son de cobre o de grafito. Se emplea mucho para la fabricación de moldes y matrices, pues mediante este proceso pueden realizarse cavidades ciegas y pasantes.

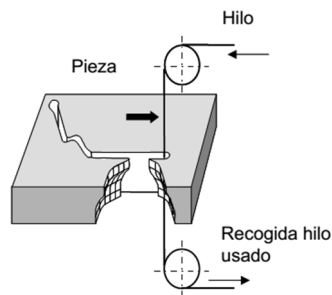


Proceso de electroerosión por penetración

2. Corte por hilo

Este proceso está basado en la utilización de un **electrodo en forma de hilo** que atraviesa la pieza y cuyo movimiento puede controlarse de forma precisa mediante un sistema de control numérico. En estos procesos el fluido dieléctrico empleado es **agua desionizada**.

En este tipo de proceso los agujeros realizados no pueden ser ciegos. Esta variante de la electroerosión también es muy empleada en la fabricación de moldes y matrices. La principal ventaja frente a la electroerosión por penetración es que el electrodo sufre **menos desgaste**.



Proceso de corte por hilo

3. Taladrado rápido

Se utiliza el término de taladrado rápido de agujeros por electroerosión para los equipos de electroerosión diseñados de forma específica para la **realización de agujeros**. El proceso utiliza los mismos principios que el proceso de electroerosión por penetración. Como **ventaja** se destaca la facilidad para realizar **taladros en superficies curvadas** y la **no formación de rebabas** en el mecanizado. Por el contrario, el **desgaste** de electrodo es bastante **elevado** y la realización de agujeros ciegos compleja.

La electroerosión fue uno de los primeros PFNC en desarrollarse, surgiendo hace unos 50 años en su variante más sencilla, el mecanizado de electroerosión por penetración. El desarrollo del proceso ha estado ligado al desarrollo de generadores de pulsos, la técnica del movimiento orbital y a la implementación del control numérico. Actualmente el mercado de la EDM está en plena **etapa de crecimiento** debido a la creciente popularidad del proceso y a sus múltiples ventajas:

- Capacidad de obtener **gran precisión dimensional** y muy buen acabado superficial.
- La **dureza del material no afecta** a la capacidad de corte, pues no hay contacto entre electrodo y superficie a mecanizar.
- A menudo se **evitan procesos** de mecanizado **posteriores**, como el rectificado.

A lo largo de los años, la **velocidad** del proceso de corte por hilo se ha **multiplicado por 20** desde la primera aplicación, y los **costes** asociados al proceso han **disminuido un 30%**.

ANEXO C

Especificaciones para los aceros

- ACERO F-1120 (AISI 1020)
- ACERO F-1140 (AISI 1045)
- ACERO F-5220 (AISI 01)



Catálogo Comercial

Aceros para Maquinarias	Normas		
	AISI/SAE	W. Nr.	DIN
	1020	≈ 1.0044	Ck20
Barras			

Aplicaciones

Ejes, eslabones, cadenas, pasadores, bujes cementados, tornillería corriente, grapas, herramientas para la agricultura. Acero se puede cementar.



Composición Química (Análisis Típico, %)

C	Si	P	S
0,18 - 0,23	≤ 0,4	≤ 0,04	≤ 0,05



Propiedades del Acero



Acero de bajo contenido de carbono utilizado en la fabricación de maquinaria y construcción mecánica de estructuras. Fácil mecanizado y buena soldabilidad. Apto para tratamiento térmico de cementación.



Catálogo Comercial

Propiedades mecánicas.

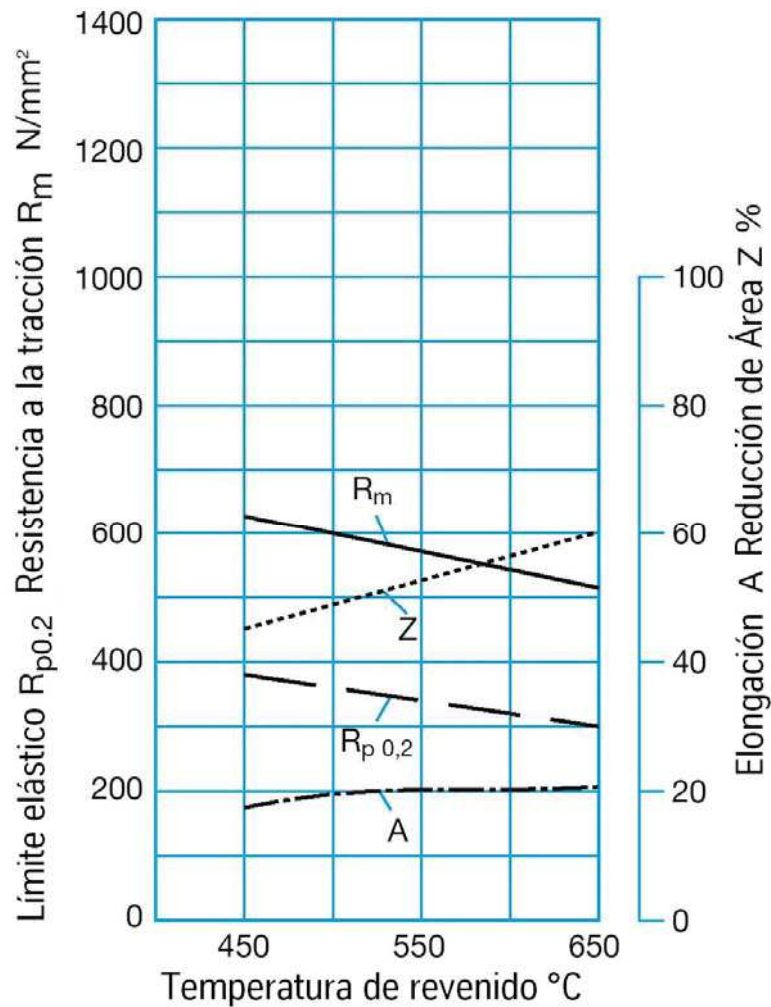
Material Recocido a 870° C

Resistencia a la tracción (Mpa)	394.7
Límite elástico (Mpa)	294.8
Elongación (%)	36.5
Reducción de área (%)	66.0
Dureza (HB)	111
Tenacidad (J)	123.4

Propiedades físicas.

Temperatura ambiente

Gravedad específica	7,83
Módulo de elasticidad Gpa	190 -200
Coefficiente de Poisson's	0,27 – 0,30
Expansión térmica (10 ⁻⁶ /°C) 20 – 700°C	14.8



Los datos técnicos y/o aplicaciones expresados en este catálogo son solo referencias promedios y típicas para aleaciones estándar, además no son una obligación ni constituyen una exigencia contractual entre **ThyssenKrupp Aceros y Servicios S. A.** y nuestros clientes, al momento de adquirir nuestros aceros.



Catálogo Comercial

Aceros para Herramientas Maquinaria	Norma		
	SAE/AISI	W. Nr.	DIN
	1045	1.1730	Ck45
Barras y planchas			

Aplicaciones

Placas de respaldo, bases, paralelas, etc. para moldes, piezas y partes de máquinas que requieren dureza y tenacidad como ejes, manivelas, chavetas, pernos, engranajes de baja velocidad, acoplamientos, bielas, pasadores, cigüeñales. También se utiliza en la fabricación de herramientas agrícolas, mecánicas y de mano forjadas.



Composición Química (Valores promedio, %)

C	Si	Mn	P	S
0,43 – 0,5	≤ 0,4	0,6 – 0,9	≤ 0,035	≤ 0,035

Características del Acero

Acero no aleado y de medio contenido de carbono. Puede ser tratado térmicamente para endurecer su superficie, mediante tratamientos térmicos convencionales. Acero típico para el endurecimiento por inducción, pudiendo alcanzar durezas de hasta 58 HRC. Presenta una buena maquinabilidad pero baja soldabilidad.





Catálogo Comercial

Propiedades del Acero

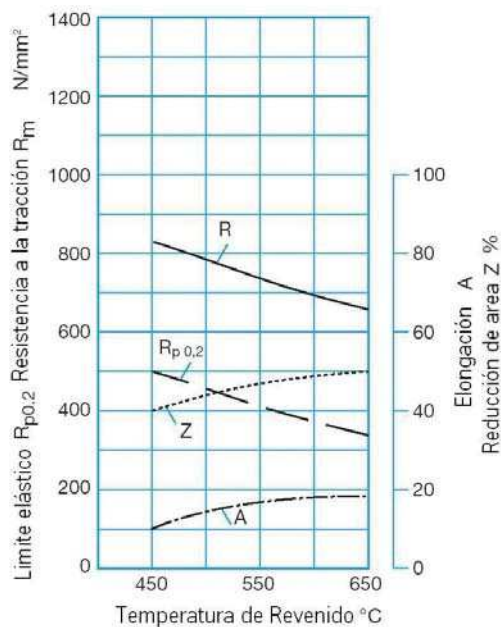
Propiedades Mecánicas.

Resistencia a la tracción, R_m	640 Mpa
Límite Elástico $R_{p0,2}$	340 Mpa
Reducción de área, Z	40%
Elongación, A_5	20%

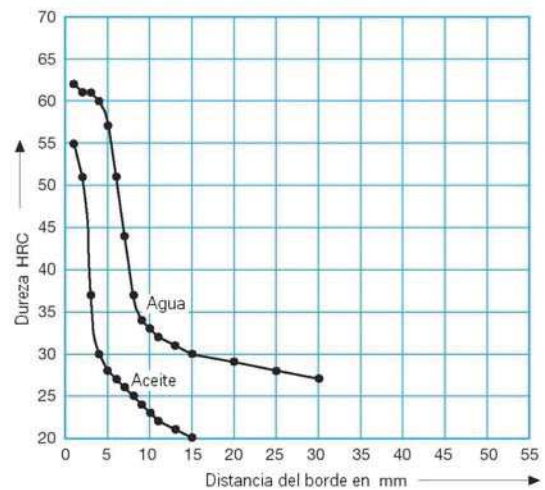
Propiedades Físicas.

Temperatura	20° C	200°C	400°C
Densidad kg/m^3	7870	7820	7750
Expansión térmica ($10^{-6}/°C$)	-	12	13,5
Modulo de elasticidad Gpa	195	193	177
Conductividad Termica $W/m \cdot °C$	-	40	41

Propiedades mecánicas en función de la temperatura



Curva de Templabilidad Jominy





Catálogo Comercial

Tratamiento Térmico

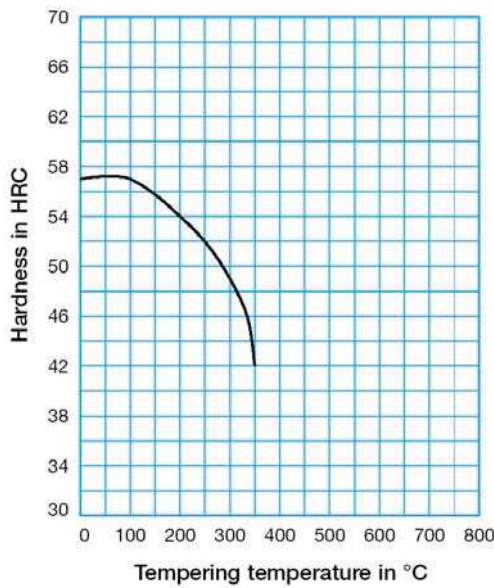
Normalizado

Calentar la pieza hasta una temperatura de 900° C, luego enfriar al aire.

Recocido

Para un estructura predominantemente perlítica, calentar a 840° C y luego enfriar en el horno a 650° C a una razón que no exceda 28° C por hora.

Curva de revenido.
Probeta enfriada en agua



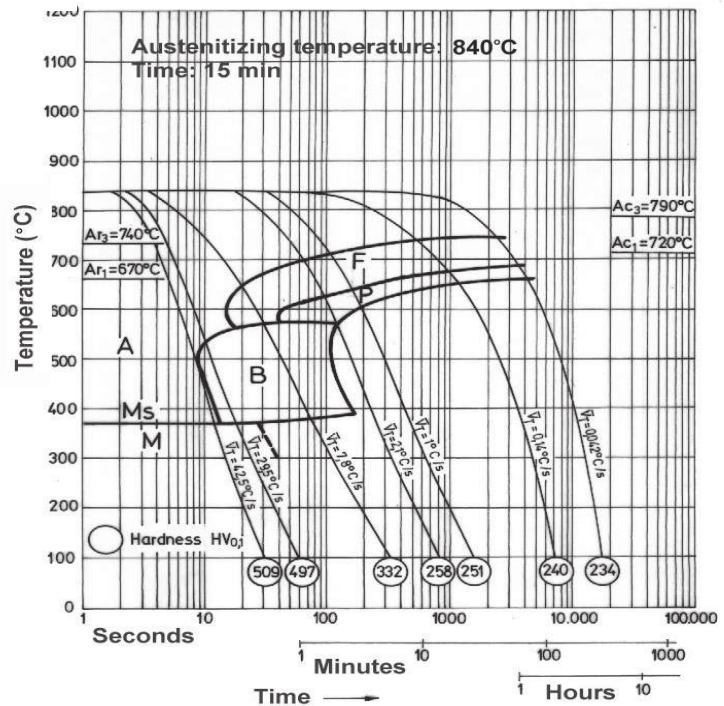
Temple

Austenizar a 840° C y enfriar en agua o salmuera. Para secciones bajo ¼" de espesor enfriar en aceite. Para temple en agua favor consultar con nuestros asesores técnicos o con su proveedor de tratamiento térmico.

Revenido

Calentar después del temple para obtener la dureza requerida.

Diagrama TTT
Temperatura tiempo
transformación





Catálogo Comercial

Recomendaciones sobre mecanizado

Los parámetros de corte que se encuentran a continuación deben ser considerados como valores guía. Estos valores deberán adaptarse a las condiciones locales existentes.

TORNEADO

Parámetros de corte	Torneado con metal duro		Torneado con acero rápido
	Torneado de desbaste	Torneado fino	Torneado fino
Velocidad de corte (vc) m/min.	150 – 220	220 - 300	50
Avance (f) mm/r	0,3 - 0,6	0,3	0,3
Profundidad de corte (ap) mm.	2 – 6	2	2
Mecanizado grupo ISO	P20 - P30 recubierto con Carburo	P10 recubierto con carburo o Cermet	-

FRESADO

Fresado de acabado

Parámetros de corte	Tipo de fresa		
	Metal duro integral	Insertado metal duro	Acero rápido
Velocidad de corte (Vc) m/min.	75	140 - 190	40 ¹⁾
Avance (fz) mm/diente	0,03 - 0,2 ²⁾	0,08 - 0,2 ²⁾	0,05 - 0,35 ²⁾
Mecanizado Grupo ISO	K10	P10 – P20	–

1) Para fresas de acabado de acero rápido recubierto Vc = 50 m/min.

2) Dependiendo del tipo de fresado y diámetro de corte.



Catálogo Comercial

Fresado frontal y axial

Parámetros de corte	Fresado con metal duro		Fresado con HSS
	Fresado de desbaste	Fresado en fino	Fresado fino
Velocidad de corte(vc) m/min.	160 - 200	200 - 300	35
Avance (fz) mm/diente	0,2 - 0,4	0,1 - 0,2	0,1
Profundidad de corte (ap) mm.	2 - 5	2	2
Mecanizado grupo ISO	P20, P40 Carburo revestido	P10, P20 Carburo revestido	-

TALADRADO

Taladrado con brocas de acero rápido

Diámetro de la broca Ø mm	Velocidad de corte(vc) m/min.	Avance (f) Mm/r
5	25*	0,08 - 0,2
5-10	25*	0,2 - 0,3
10-15	25*	0,3 - 0,35
15-20	25*	0,35 - 0,40

*Para brocas de acero rápido recubiertos vc = 35 m/min.

Taladrado con brocas de carburo

Parámetros de corte	Tipo de broca		
	Metal duro insertado	Metal duro sólido	Taladro con canales de refrigeración ¹⁾
Velocidad de corte (vc) m/min.	175 - 225	85	75
Avance (f) mm/r	0,05-0,25 ²⁾	0,10-0,25 ²⁾	0,15-0,25 ²⁾

¹⁾ Brocas con canales de refrigeración interna y plaquita de metal duro.

²⁾ Dependiendo del diámetro de la broca.

RECTIFICADO

A continuación ofrecemos unas recomendaciones generales sobre muelas de rectificado.

Tipo de rectificado	Muelas recomendadas	
	Estado de Recocido	Estado Templado
Rectificado frontal muela recta	A 46 H V	A 46 G V
Rectificado frontal por segmentos	A 24 G V	A 36 G V
Rectificado cilíndrico	A 46 LV	A 60 J V
Rectificado interno	A 46 J V	A 60 L V
Rectificado de perfil	A 100 L V	A 120 J V

Los datos técnicos y/o aplicaciones expresados en este catálogo son sólo referencias promedios y típicos para aleaciones Standard, además no son una obligación ni constituyen una exigencia contractual entre **ThyssenKrupp Aceros y Servicios S. A.** y nuestros clientes, al momento de comprar nuestros aceros.



Catálogo Comercial

Aceros para Herramientas	Normas			
	Nombre	AISI	W. Nr.	DIN
Trabajo en frío	THYRODUR® 2510	01	1.2510	100MnCrW4

Aplicaciones

Herramientas de corte para papel y cartón de bajas producciones, materiales plásticos, matrices cortantes y troqueles, cuchillas industriales, calibres. Herramientas para cortar y estampar, doblar, repujado y conformado por estirado, troqueles de acuñar en frío, puntos de torno, manguitos guía, expulsores, machos de roscar de tamaño pequeño y mediano (para aleaciones de aluminio), levas, boquillas, pistones, columnas para moldes.



Composición Química (Valores promedio, %)

C	Si	Mn	Cr	V	W
0,95	0,2	1,1	0,6	0,1	0,6

Características del Acero

Acero de temple al aceite, moderada resistencia al desgaste, buena dureza y tenacidad. Penetración de dureza hasta aprox. 30 mm.



Propiedades del Acero

Características físicas

Templado y revenido a 62 HRc.

Temperatura	20°C	200°C
Densidad, kg/m ³	7800	7750
Coefficiente de dilatación térmica por °C	-	11,7 x 10 ⁻⁶
Conductibilidad térmica W/m °C	33,5	32
Módulo de elasticidad N/mm ²	190000	185000
Calor específico J/kg °C	460	-



Catálogo Comercial

Tratamiento térmico

Recocido

Proteger el acero y calentarlo en toda su masa a 780°C. Luego enfriarlo en el horno 15°C por hora hasta 650°C y por último libremente en el aire.

Alivio de tensiones

Después del desbastado en máquina, debe calentarse la herramienta en toda su masa a 650°C, tiempo de mantenimiento 2 horas. Enfriar lentamente hasta 500°C y después libremente al aire.

Temple

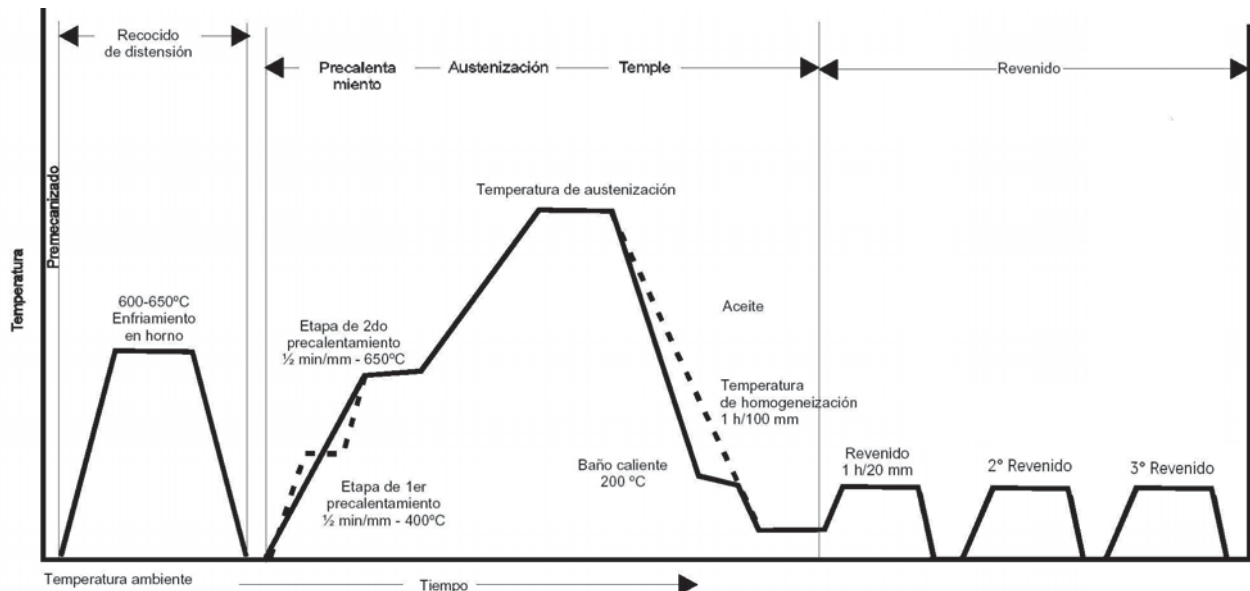
Temperatura de precalentamiento: 600–700°C

Temperatura de austenización: 790–850°C

* Tiempo de mantenimiento = tiempo a la temperatura de temple después de que la herramienta está plenamente calentada en toda su masa.

Proteger la herramienta contra decarburación y oxidación durante el proceso de temple.

Diagrama Tiempo – Temperatura para el Tratamiento Térmico





Catálogo Comercial

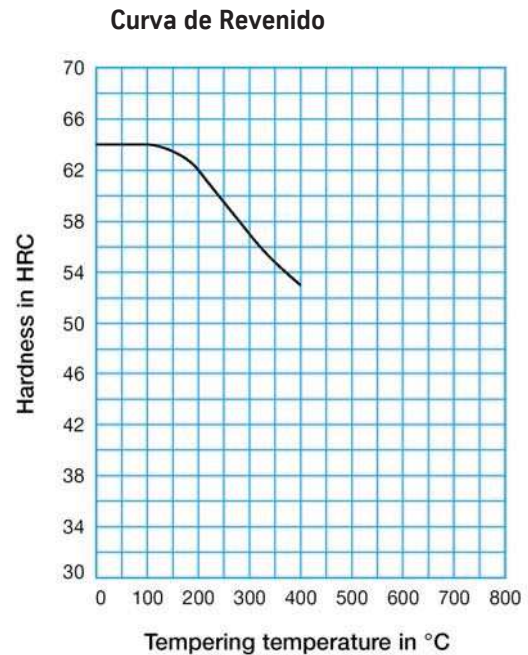
Agentes de enfriamiento

- Aceite
- Temple escalonado martensítico a 180–225°C, después, enfriar al aire.

Nota: Revenir inmediatamente que la herramienta alcance 50–70°C.

Revenido

Elegir la temperatura de acuerdo con la dureza requerida según el gráfico de revenido. Revenir dos veces con enfriamiento intermedio a la temperatura ambiental. Mínima temperatura de revenido 180°C. Tiempo mínimo de mantenimiento de temperatura, 2 horas. (Dependiendo del tamaño y espesor de la pieza).



Cambios dimensionales durante el temple

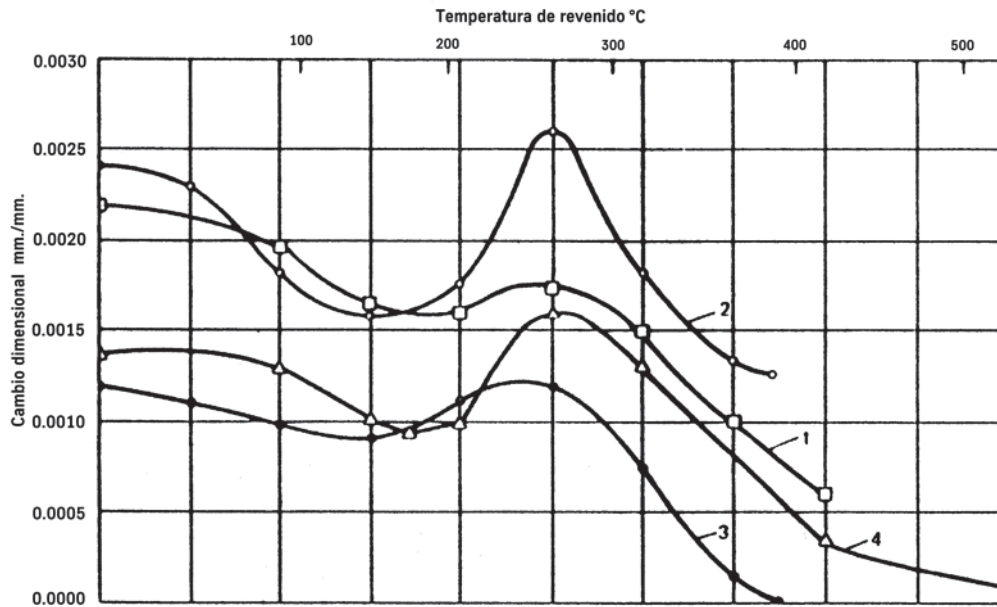
Plancha de muestra, 100 x 100 x 25 mm.

		Ancho %	Longitud %	Espesor %
Temple en aceite desde 830°C	mín. máx.	+0,03 +0,10	+0,04 +0,10	– +0,02
Temple escalonado Martensítico desde 830°C	mín. máx.	+0,04 +0,12	+0,06 +0,12	– +0,02



Catálogo Comercial

Cambios dimensionales durante el revenido



Curva	Temperatura austenización °C	Medio de enfriamiento	Tamaño probeta mm.
1	815	Aceite	25x50x150
2	800	Aceite	Ø 50x50
3	800	Aceite	Ø 10x50
4	785	Aceite	Ø 25x125

Nota: Hay que sumar los cambios dimensionales experimentados en el temple y revenido. Tolerancia recomendada 0,25%.

Tratamiento sub-cero

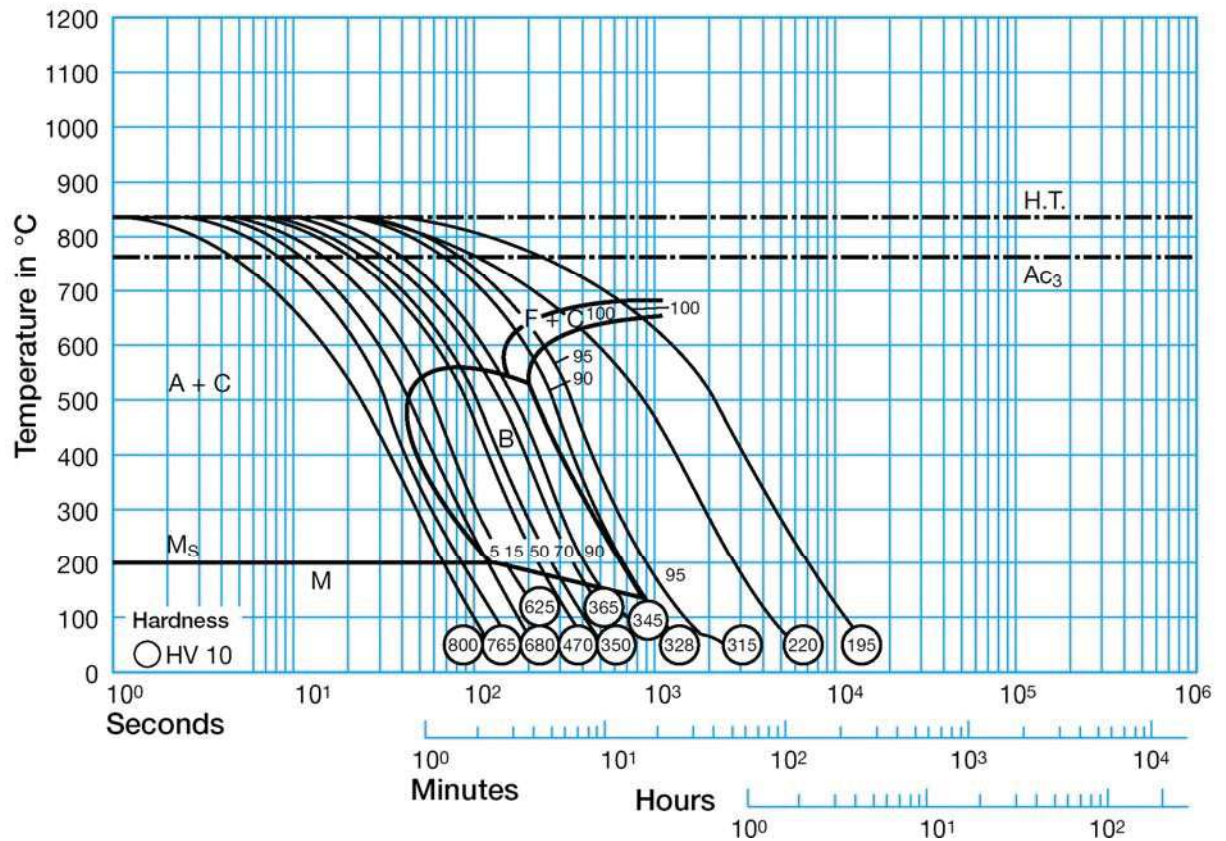
Las piezas que requieran una estabilidad dimensional máxima deberán someterse a tratamiento sub-cero para que con el tiempo no experimenten cambios en el volumen. Esto se aplica, por ejemplo, a las herramientas de medición y ciertas piezas de construcción.

Inmediatamente después del temple la pieza se enfriará entre -70 y -80°C durante un tiempo de 3-4 horas, seguido de revenido o envejecimiento. El tratamiento sub-cero confiere un aumento de dureza de 1-3 HRC. Evitar las formas complicadas debido al riesgo de formación de grietas.



Catálogo Comercial

Diagrama TTT (Temperatura-tiempo-transformación)





Catálogo Comercial

Recomendaciones sobre mecanizado

Los parámetros de corte que se encuentran a continuación deben ser considerados como valores guía. Estos valores deberán adaptarse a las condiciones locales existentes.

TORNEADO

Parámetros de corte	Torneado con metal duro		Torneado con acero rápido
	Torneado de desbaste	Torneado fino	Torneado fino
Velocidad de corte (vc) m/min.	125–195	250–370	25 - 50
Avance (f) mm/r	0,4–1	0,1 – 0,4	0,1 - 0,2
Mecanizado grupo ISO	P25 - P30 Recubierto con TiAlN	P10/P15	-

FRESADO

Parámetros de corte	Fresado con metal duro		Fresado con acero rápido	
	Fresado de desbaste	Fresado fino	Fresado de desbaste	Fresado fino
Velocidad de corte (vc) m/min.	140 – 190	120 – 180	12 – 20	20 – 35
Avance (f) mm/r	0,3 – 0,6	0,1 - 0,2	0,2 – 0,4	0,05 - 0,1
Mecanizado grupo ISO	P40 Recubierto con TiAlN	P25	-	-



Catálogo Comercial

TALADRADO

Taladrado con brocas de acero rápido

Diámetro de la broca Ø mm	Velocidad de corte (vc) m/min.	Avance (f) mm/r
5	16	0,08–0,20
5–10	16	0,20–0,30
10–15	16	0,30–0,35
15–20	16	0,35–0,40

Taladrado con brocas de metal duro

Parámetros de corte	Tipo de broca		
	Metal duro insertado	Metal duro sólido	Taladro con canales de refrigeración ¹⁾
Velocidad de corte (vc) m/min.	120–160	60	55
Avance (f) mm/r	0,05-0,25 ²⁾	0,10–0,25 ²⁾	0,15–0,25 ²⁾

*Para brocas de acero rápido recubiertos vc = 22 m/min.

¹⁾ Brocas con canales de refrigeración interna y plaqueta de metal duro.

²⁾ Dependiendo del diámetro de la broca.

RECTIFICADO

A continuación ofrecemos unas recomendaciones generales sobre muelas de rectificado.

Tipo de rectificado	Muelas recomendadas	
	Estado recocido blando	Estado templado
Rectificado frontal muela recta	A 46 H V	A 46 GV
Rectificado frontal por segmentos	A 24 G V	A 36 GV
Rectificado cilíndrico	A 46 LV	A 60 JV
Rectificado interno	A 46 J V	A 60 IV
Rectificado de perfil	A 100 L V	A 120 JV

Los datos técnicos y/o aplicaciones expresados en este catálogo son sólo referencias promedios y típicas para aleaciones estándar, además no son una obligación ni constituyen una exigencia contractual entre **ThyssenKrupp Aceros y Servicios S. A.** y nuestros clientes, al momento de adquirir nuestros aceros.

ANEXO D

Catálogos de elementos comerciales

- Portamatrices Modelo D (*INMACISA*)
- Vástago DIN 9859 (*FIBRO*)
- Columna lisa Modelo F (*INMACISA*)
- Casquillo Valona Modelo M (*INMACISA*)
- Casquillo Valona corta Modelo P (*INMACISA*)
- Muelles DIN 17225 (*INMACISA*)
- Topes guía Modelo TGM (*INMACISA*)
- Tornillos DIN 7984 (*Hispanox*)
- Tornillos DIN 965 (*Hispanox*)
- Pasadores DIN 6325 (*Hispanox*)

PORTAMATRICES DE ACERO Modelo D

Material:

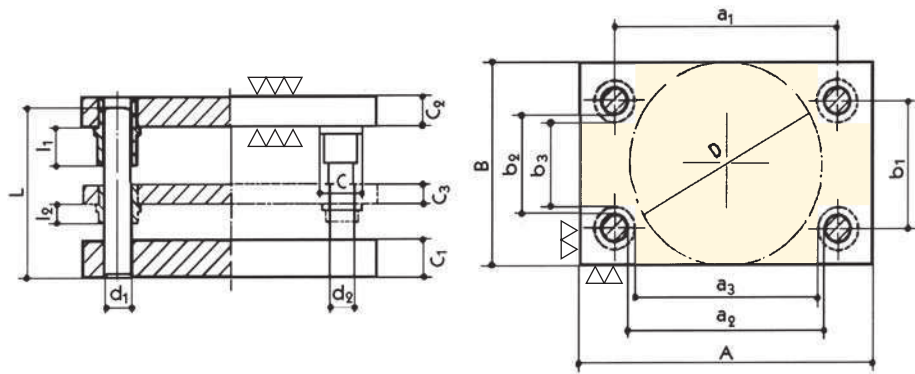
Acero F-112
(normalizado)
Acero ST-52
Acero F-114

Tolerancias:

En Pág. 3

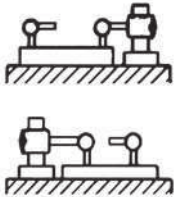
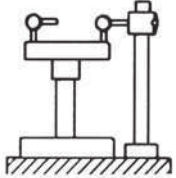
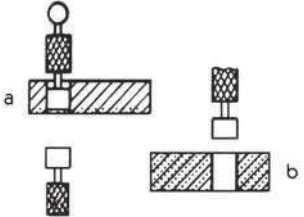
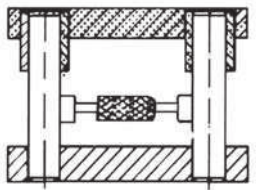
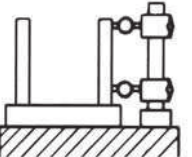
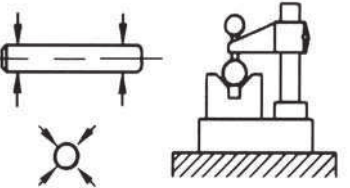
Forma de Pedido:

Modelo N°



N°	DIMENSIONES						ESPEORES			COL. / CASQ.						SUPERFICIE ÚTIL						
	A	B	a ₁	a ₂	b ₁	b ₂	C ₁	C ₂	C ₃	d ₁	d ₂	L	c	l ₁	l ₂	a ₃	x	B	A	x	b ₃	D
9	150	125	100	81	75	56	32	27	18	18	19	130	38	35	18	62	x	125	150	x	35	80
11	200		150	131												112		200	200			125
16	200		138	113												90		200	200			120
17	250	165	188	163	103	78	37	32	23	24	25	140	48	45	18	140	x	250	250	x	55	165
19	300		238	213												190		300	300			165
21	350		288	263												240		350	350			165
25	225		163	138												115		225	225			165
26	250	200	188	163	138	113	42	32	28	24	25	160	48	45	18	140	x	250	250	x	90	180
27	300		238	213												190		300	300			200
28	350		273	241												215		350	350			200
29	400	200	323	291	123	92	42	32	28	30	32	160	58	50	18	265	x	400	400	x	65	200
30	450		373	341												315		450	450			200
40	300		223	191												165		300	300			225
41	350		273	241												215		350	350			250
42	400	250	323	291	173	142	47	37	32	30	32	180	58	50	18	265	x	400	400	x	115	250
43	450		373	341												315		450	450			250
44	500		423	391												365		500	500			250
51	350		273	241												215		350	350			260
52	400		323	291												265		400	400			300
53	450	300	373	341	223	192	47	42	32	30	32	180	58	50	18	315	x	450	450	x	165	300
54	500		423	391												365		500	500			300
56	600		523	491												465		600	600			300
58	700		623	591												565		700	700			300
59	400		312	272												240		400	400			330
60	450		362	322												290		450	450			350
61	500	350	412	372	262	221	47	42	32	40	42	180	72	50	18	340	x	500	500	x	190	350
63	600		512	472												440		600	600			350
65	700		612	572												540		700	700			350
66	450		362	322												290		450	450			400
67	500	400	412	372	312	271	47	42	32	40	42	180	72	50	18	340	x	500	500	x	240	400
68	600		512	472												440		600	600			400
69	700		612	572												540		700	700			400
70	800		712	672												640		800	800			400
71	500		412	372												340		500	500			450
72	600	450	512	472	362	321	52	47	32	40	42	200	72	50	18	440	x	600	600	x	290	450
73	700		612	572												540		700	700			450
74	800		712	672												640		800	800			450

Bajo demanda fabricamos cualquier medida especial.

	<p><i>PARALELISMO PLACAS</i></p> <p><i>0,01 x 100 mm</i></p>
	<p><i>PARALELISMO MONTAJE</i></p> <p><i>0,015 x 100 mm</i></p>
	<p><i>TOLERANCIA AGUJEROS</i></p> <p><i>A) CABEZA H6</i> <i>B) BASE R7</i></p>
	<p><i>ENTRECENTROS</i></p> <p><i>+ 0,01 mm</i></p>
	<p><i>PERPENDICULARIDAD COLUMNA MONTAJE</i></p> <p><i>0,015 x 100 mm</i></p>
	<p><i>CILINDRADA COLUMNA</i></p> <p><i>0,0013 x 100 mm</i></p>

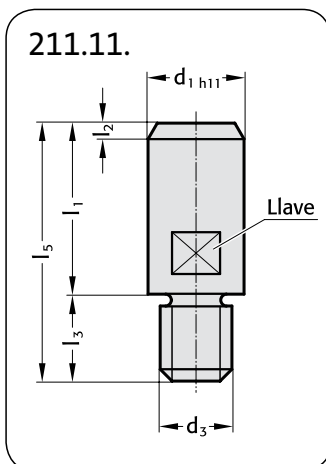
ARMAZONES CON PLACA INTERMEDIA

En placa superior se montan casquillos VALONA 30
En placa intermedia se montan casquillos VALONA 18

Pernos roscados con y sin valona
Pernos roscados ~DIN ISO 10242

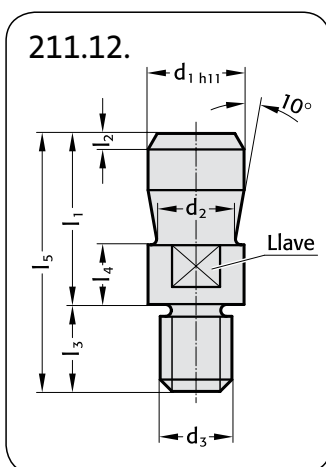
211.13.
211.14.

211.11.
211.12.



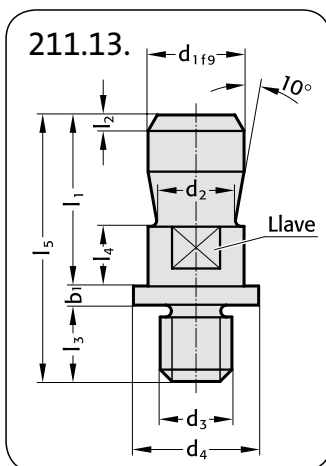
211.11. Pernos roscados

Código	d ₁	d ₃	l ₁	l ₂	l ₃	l ₅	Llave
211.11.20.016	20	M16x1,5	40	3	18	58	17
25.016	25	M16x1,5	45	4	23	68	21
020	25	M20x1,5	45	4	23	68	21
211.11.32.020	32	M20x1,5	56	4	23	79	27
024	32	M24x1,5	56	4	23	79	27
211.11.40.024	40	M24x1,5	70	5	23	93	36
030	40	M30x2	70	5	23	93	36
211.11.50.030	50	M30x2	80	6	28	108	41
65.042	65	M42x3	100	8	28	128	55



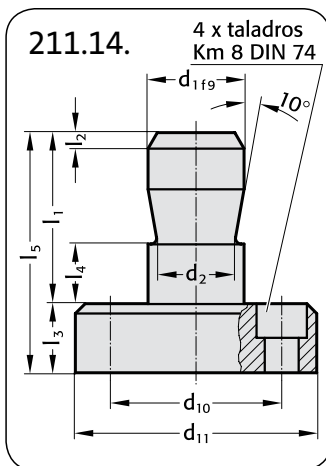
211.12. Pernos roscados, ~DIN ISO 10242-1

Código	d ₁	d ₂	d ₃	l ₁	l ₂	l ₃	l ₄	l ₅	Llave
211.12.20.016	20	15	M16x1,5	40	2	18	12	58	17
25.016	25	20	M16x1,5	45	2.5	23	16	68	21
020	25	20	M20x1,5	45	2.5	23	16	68	21
211.12.32.020	32	25	M20x1,5	56	3	23	16	79	27
024	32	25	M24x1,5	56	3	23	16	79	27
211.12.40.024	40	32	M24x1,5	70	4	23	26	93	36
027	40	32	M27x2	70	4	23	26	93	36
030	40	32	M30x2	70	4	23	26	93	36
211.12.50.030	50	42	M30x2	80	5	28	26	108	41
65.042	65	53	M42x3	100	8	28	26	128	55



211.13. Pernos roscados con valona

Código	d ₁	d ₂	d ₃	d ₄	l ₁	l ₂	l ₃	l ₄	l ₅	Llave
211.13.20.016	20	15	M16x1,5	28	40	2	16	12	61	17
25.016	25	20	M16x1,5	34	45	2.5	16	16	66	21
020	25	20	M20x1,5	34	45	2.5	20	16	70	21
211.13.32.020	32	25	M20x1,5	42	56	3	20	16	82	27
024	32	25	M24x1,5	42	56	3	24	16	86	27
211.13.40.024	40	32	M24x1,5	52	70	4	24	26	102	36
030	40	32	M30x2	52	70	4	30	26	108	36
211.13.50.030	50	42	M30x2	62	80	5	30	26	118	41



211.14. Pernos con pletina, ~DIN ISO 10242-2

Código	d ₁	d ₂	d ₁₀	d ₁₁	l ₁	l ₂	l ₃	l ₄	l ₅
211.14.20.063	20	15	45	63	40	2	18	12	58
25.063	25	20	45	63	45	2.5	18	16	63
080	25	20	63	80	45	2.5	18	16	63
211.14.32.097	32	25	80	97	56	3	23	16	79
122	32	25	105	122	56	3	23	16	79
211.14.40.097	40	32	80	97	70	4	23	26	93
122	40	32	105	122	70	4	23	26	93

COLUMNA LISA Modelo F

Material:

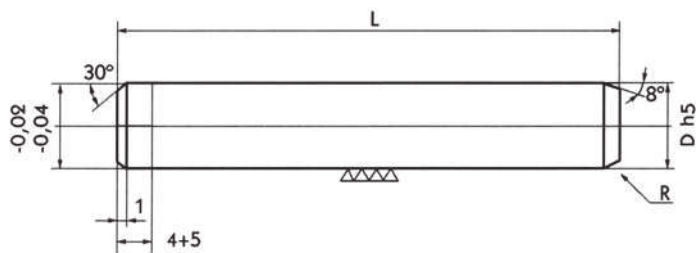
Acero 1,7264

Dureza:

60-62 HRc.

Forma de Pedido:

D x L



D h5	15/16	18/19	24/25	30/32	40/42	50/52	60/63	80
r	1,5	2	2,5	3	4	5	6	6
L	130	•	•					
	140	•	•	•				
	160		•	•	•			
	180		•	•	•	•		
	200		•	•	•	•	•	
	220		•	•	•	•	•	
	240			•	•	•	•	•
	260			•	•	•	•	•
	280				•	•	•	•
	300				•	•	•	•
	320				•	•	•	•
	350					•	•	•
400						•	•	

Bajo demanda fabricamos cualquier medida especial.



CASQUILLO VALONA Modelo M / O

Material:

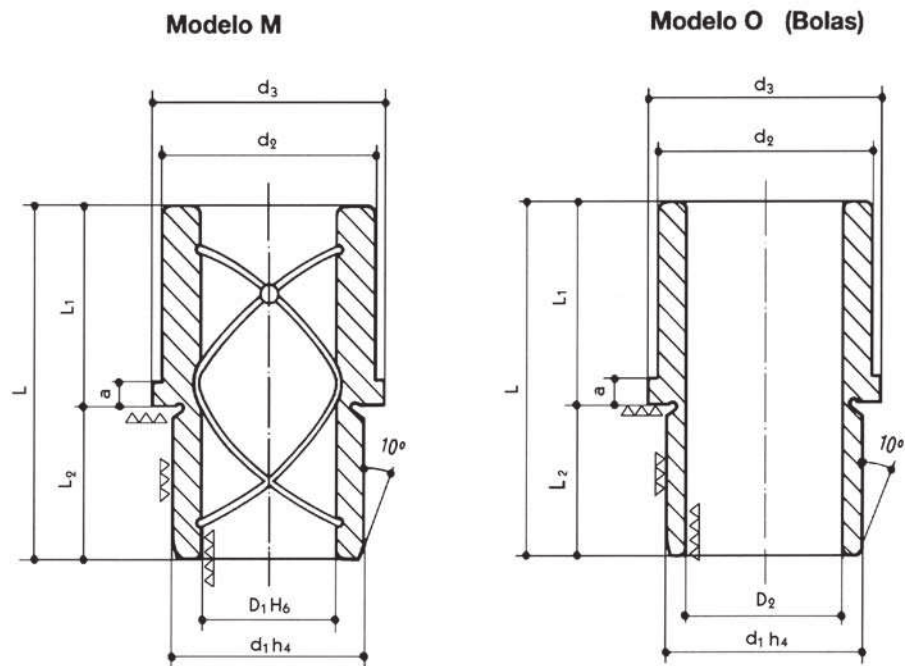
Acero 1,7264
Bronce al aluminio

Dureza:

60-62 HRc.

Forma de Pedido:

$D_1 \times L$
 $D_2 \times L$ (bolas)



D_1 H6	d_1	d_2	d_3	L	L_1	L_2	a	D_2
15	28	30	34	50	30	20	5	21
16								22
18	32	34	38	60	35	25	5	24
19								25
24	40	43	48	75/60	45/30	30	5	30
25								31
30	48	53	58	80/60	50/30	30	5	38
32								40
40	58	66	72	85/65	50/30	35	5	48
42								50
50	68	77	82	100/75	55/30	45	5	58
52								60
60	85	90	95	115	65	50	5	72
63								75
80	100	112	120	125	70	55	6,5	92

Bajo demanda fabricamos cualquier medida especial.

CASQUILLO VALONA CORTA Modelo P / R

Material:

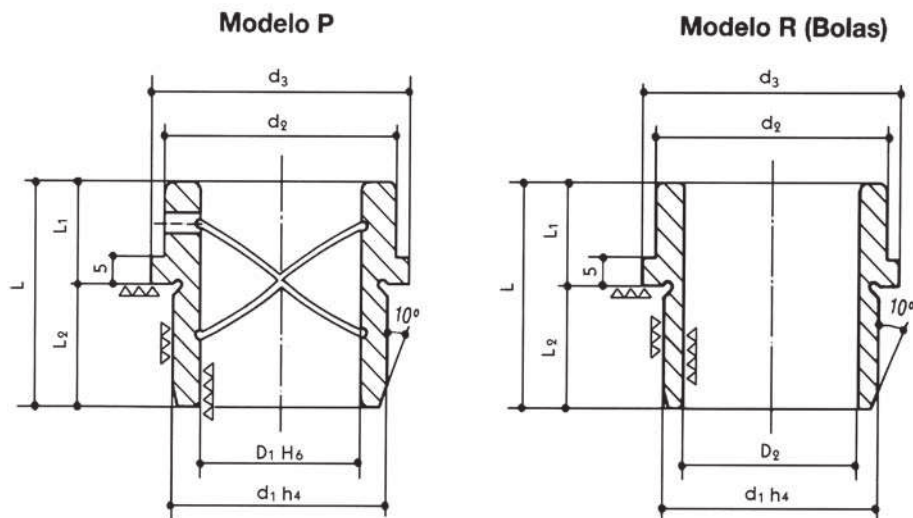
Acero 1,7264
Bronce al aluminio

Dureza:

60-62 HRC.

Forma de Pedido:

$D_1 \times L$
 $D_2 \times L$ (bolas)



D_1 H6	d_1	d_2	d_3	L	L_1	L_2	d_3	d_2	d_1	D_2
15 16	28	30	34	31	16	15	34	30	28	21 22
18 19	32	34	38	33	16	17	38	34	32	24 25
24 25	40	43	48	40	18	22	48	43	40	30 31
30 32	48	53	58	45	18	27	58	53	48	38 40
40 42	58	66	72	48	18	30	72	66	58	48 50
50 52	68	77	82	57	22	35	82	77	68	58 60
60 63	85	90	95	70	30	40	95	90	85	72 75
80	100	112	120	100	45	55	120	112	100	92

Bajo demanda fabricamos cualquier medida especial.

RESORTES DE MATRICERÍA Color Amarillo. Carga extrafuerte (I)

Modelo: Danly

Material: Acero al cromo vanadio

Según DIN-17225 (SAE 6150)

IN 0,102 K

1 KP 9,8 N

Forma de Pedido: Modelo



Diámetro del orificio	Diámetro de varilla	Longitud mm.	Modelo	Constante N/1 mm.	Deflexión recomendada 17%		Deflexión máxima 25%		Deflexión al bloqueo aprox.	
					N	mm.	N	mm.	N	mm.
10 mm.	4,5 mm.	25	A10x25	34,3	144	4,2	212	6,2	274	8
		32	A10x32	25,5	137	5,4	204	8	255	10
		38	A10x38	21,5	139	6,5	204	9,5	258	12
		45	A10x45	17,8	135	7,6	199	11,2	249	14
	Sección hilo 1,8 x 1,6	50	A10x50	15,6	132	8,5	195	12,5	249	16
		65	A10x65	12,2	134	11	195	16	244	20
		75	A10x75	10,2	132	13	193	19	244	24
		303	A10x303	2,4	124	52	182	76	261	109
13 mm.	7 mm.	25	A13x25	59,8	251	4,2	370	6,2	538	9
		32	A13x32	45,1	243	5,4	360	8	496	11
		38	A13x38	36,3	236	6,5	345	9,5	471	13
		45	A13x45	30,4	231	7,6	340	11,2	486	16
	Sección hilo 2,4 x 2,3	50	A13x50	27,4	232	8,5	342	12,5	493	18
		65	A13x65	22	242	11	352	16	484	22
		75	A13x75	18,2	236	13	345	19	491	27
		303	A13x303	4,2	218	52	320	76	483	115
16 mm.	8,5 mm.	25	A16x25	124	520	4,2	768	6,2	1116	9
		32	A16x32	93,2	503	5,4	745	8	1025	11
		38	A16x38	76,5	497	6,5	726	9,5	994	13
		45	A16x45	64,7	491	7,6	724	11,2	970	15
	Sección hilo 2,9 x 3,2	50	A16x50	55	467	8,5	687	12,5	935	17
		65	A16x65	43,1	474	11	689	16	948	22
		75	A16x75	36,3	472	13	689	19	944	26
		90	A16x90	30,4	456	15	668	22	942	31
19 mm.	10 mm.	101	A16x101	27	459	17	675	25	945	35
		303	A16x303	8,7	452	52	661	76	930	107
		25	A19x25	347	1457	4,2	2151	6,2	3123	9
		32	A19x32	250	1350	5,4	2000	8	2750	11
	Sección hilo 3,8 x 4,2	38	A19x38	198	1287	6,5	1881	9,5	2574	13
		45	A19x45	166	1261	7,6	1859	11,2	2490	15
		50	A19x50	142	1207	8,5	1775	12,5	2414	17
		65	A19x65	111	1221	11	1776	16	2331	21
		75	A19x75	93,2	1211	13	1770	19	2330	25
		90	A19x90	78,5	1177	15	1727	22	2433	31
		101	A19x101	67,6	1149	17	1690	25	2433	36
115	A19x115	58,8	1176	20	1705	29	2352	40		
126	A19x126	53	1166	22	1696	32	2332	44		
151	A19x151	43,1	1120	26	1637	38	2241	52		
303	A19x303	21	1092	52	1596	76	2247	107		

RESORTES DE MATRICERÍA Color Amarillo. Carga extrafuerte (II)

Diámetro del orificio	Diámetro de varilla	Longitud mm.	Modelo	Constante N/1 mm.	Deflexión recomendada 17%		Deflexión máxima 25%		Deflexión al bloqueo aprox.			
					N	mm.	N	mm.	N	mm.		
26 mm.	12,5 mm.	32	A26x32	381	2057	5,4	3048	8	4191	11		
		38	A26x38	301	1956	6,5	2859	9,5	3913	13		
		45	A26x45	247	1877	7,6	2766	11,2	3705	15		
		50	A26x50	207	1759	8,5	2587	12,5	3519	17		
		65	A26x65	161	1771	11	2576	16	3381	21		
		75	A26x75	131	1703	13	2489	19	3275	25		
		90	A26x90	110	1650	15	2420	22	3410	31		
	Sección hilo 4,7 x 5,5	101	A26x101	96,1	1633	17	2402	25	3459	36		
		115	A26x115	85,3	1706	20	2473	29	3412	40		
		126	A26x126	76,5	1683	22	2448	32	3442	45		
		151	A26x151	62,7	1630	26	2382	38	3385	54		
		176	A26x176	54	1620	30	2376	44	3402	63		
		202	A26x202	47	1598	34	2350	50	3243	69		
		303	A26x303	30,4	1580	52	2310	76	3313	109		
32 mm.	16 mm.	38	A32x38	519	3373	6,5	4930	9,5	6747	13		
		45	A32x45	427	3245	7,6	4782	11,2	6405	15		
		50	A32x50	361	3068	8,5	4512	12,5	6137	17		
		65	A32x65	282	3102	11	4512	16	5922	21		
		75	A32x75	225	2925	13	4275	19	5625	25		
		90	A32x90	189	2835	15	4158	22	5859	31		
		101	A32x101	160	2720	17	4000	25	5600	35		
	Sección hilo 5,8 x 7,2	115	A32x115	142	2840	20	4118	29	5680	40		
		126	A32x126	128	2816	22	4096	32	5632	44		
		151	A32x151	104	2704	26	3952	38	5512	53		
		176	A32x176	89,2	2676	30	3924	44	5530	62		
		202	A32x202	78,5	2669	34	3925	50	5573	71		
		252	A32x252	61,8	2657	43	3893	63	5562	90		
		303	A32x303	51	2652	52	3876	76	5559	109		
38 mm.	19 mm.	50	A38x50	578	4913	8,5	7225	12,5	9248	16		
		65	A38x65	445	4895	11	7120	16	9345	21		
		75	A38x75	357	4641	13	6783	19	8925	25		
		90	A38x90	292	4380	15	6424	22	8468	29		
		101	A38x101	258	4386	17	6450	25	8772	34		
		115	A38x115	227	4540	20	6583	29	8626	38		
		126	A38x126	201	4422	22	6432	32	8643	43		
	Sección hilo 7,2 x 8,6	151	A38x151	164	4264	26	6232	38	8528	52		
		176	A38x176	140	4200	30	6160	44	8540	61		
		202	A38x202	120	4080	34	6000	50	8400	70		
		252	A38x252	94,1	4046	43	5928	63	8374	89		
		303	A38x303	78,4	4076	52	5958	76	8310	106		
		51 mm.	25 mm.	65	A51x65	737	8107	11	11792	16	15477	21
				75	A51x75	588	7644	13	11172	19	14700	25
90	A51x90			496	7440	15	10912	22	14880	30		
101	A51x101			442	7174	17	10550	25	14348	34		
115	A51x115			368	7360	20	10672	29	14352	39		
126	A51x126			324	7128	22	10368	32	13932	43		
Sección hilo 8,8 x 11,5	151		A51x151	263	6838	26	9994	38	13676	52		
	176		A51x176	226	6780	30	9944	44	13786	61		
	202		A51x202	197	6698	34	9850	50	13790	70		
	252		A51x252	155	6655	43	9765	63	13795	89		
	303		A51x303	126	6552	52	9576	76	13356	106		

TOPE GUÍA Modelo TGM

Material:

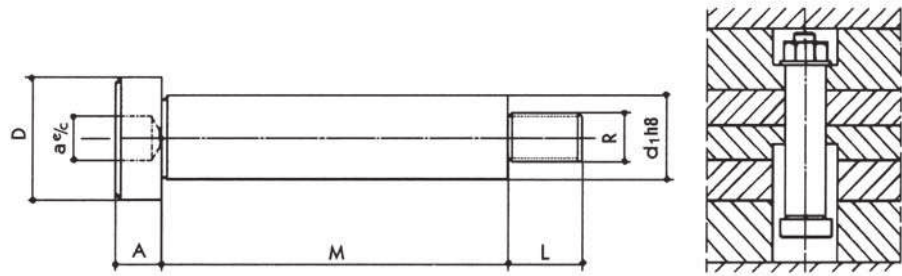
12,9 Acero Aleado

Dureza:

46-48 HRC

Forma de Pedido:

RxM

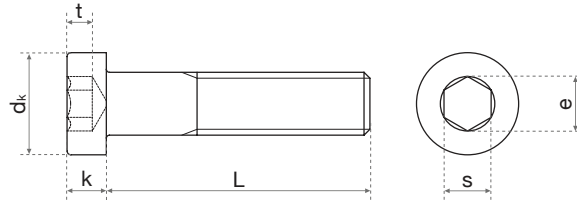


d1 h8	6	8	10	12	14	16	20	25	32
R	M5	M6	M8	M10	M10	M12	M16	M20	M24
L	8	10	12	16	12	20	25	32	40
A	4	5	6	8	8	10	12	16	20
D	9	11	14	18	20	22	28	36	45

M +0,1 -0	10	•	•	•	•		•		
	12	•	•	•	•		•		
	16	•	•	•	•		•	•	
	20	•	•	•	•		•	•	•
	25	•	•	•	•		•	•	•
	30	•	•	•	•		•	•	•
	32	•	•	•	•		•	•	•
	40	•	•	•	•	•	•	•	•
	50	•	•	•	•	•	•	•	•
	60	•	•	•	•	•	•	•	•
	63	•	•	•	•		•	•	•
	70		•	•	•		•	•	•
	80		•	•	•	•	•	•	•
	90		•	•	•		•	•	•
	100		•	•	•	•	•	•	•
	110		•	•	•		•	•	•
	120			•	•		•	•	•
	125			•	•	•	•	•	•
140			•	•	•	•	•	•	
160			•	•		•	•	•	
200				•		•	•	•	
250						•	•	•	

DIN 7984

TORNILLO CILÍNDRICO CON HEXÁGONO INTERIOR, CABEZA BAJA HEXAGON SOCKET HEAD CAP SCREWS WITH LOW HEAD



Inox A2 ■
Inox A4 ■
Acero 8.8 ■

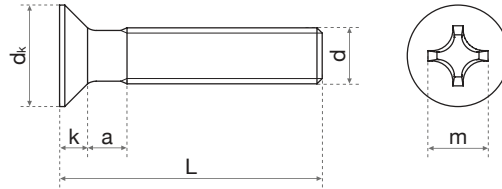
d	M3	M4	M5	M6	M8	M10	M12	M16	M20
L									
5	■								
6	■	■							
8		■	■						
10			■	■					
12				■	■				
14					■	■			
16						■	■		
18							■	■	
20								■	■
25								■	■
30									■
35									
40									
45									
50									
55									
60									
70									
80									
90									
100									
110									
120									
130									
140									
150									

e	2,3	2,87	3,44	4,58	5,72	8,01	9,15	13,72	16
t	1,5	2,3	2,7	3	3,8	4,5	5	5,5	7,5
s	2	2,5	3	4	5	7	8	12	14
k	2	2,8	3,5	4	5	6	7	9	11
dk	5,5	7	8,5	10	13	16	18	24	30

Medidas indicadas en mm

DIN 965

TORNILLO CABEZA AVELLANADA PLANA, H FLAT COUNTERSUNK HEAD SCREWS, H

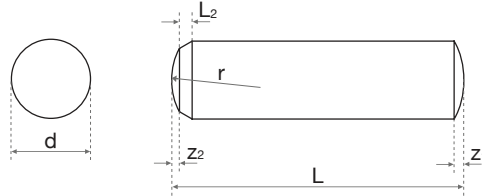


Inox A2 ■
Inox A4 ■
Acero ■

d	M1,6	M2	M2,5	M3	M4	M5	M6	M8	M10
L									
3	■	■							
4	■	■	■						
5		■	■	■					
6		■	■	■					
8		■	■	■					
10		■	■	■	■				
12		■	■	■	■	■			
14		■	■	■	■	■	■		
16		■	■	■	■	■	■	■	
18		■	■	■	■	■	■	■	■
20									
22									
25									
30									
35									
40									
45									
50									
55									
60									
70									
80									
90									
100									
a	0,7	0,8	0,9	1	1,4	1,6	2	2,5	3
k	0,96	1,2	1,5	1,65	2,2	2,5	3	4	5
dk	3	3,8	4,7	5,6	7,5	9,2	11	14,5	18
m	1,7	2,35	2,7	2,9	4,4	4,6	6,6	8,7	9,6

Medidas indicadas en mm

PASADOR CILÍNDRICO PARALLEL PINS



Acero endurecido ■

d	1	1,5	2	2,5	3	4	5	6	8	10	12	14	16
L	4												
5													
6													
8													
10													
12													
14													
16													
18													
20													
24													
30													
32													
36													
40													
45													
50													
55													
60													
70													
80													
90													
100													
110													
120													

L ₂	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1	1,2	1,5	1,8	2	2,5	2,5	3
r	1	1,6	2	2,5	3	4	5	6	8	10	12	16	16
Z ₁	0,15	0,23	0,3	0,4	0,45	0,6	0,75	0,9	1,2	1,5	1,8	2	2,5
Z ₂	0,08	0,12	0,18	0,25	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1	1,3	1,3	1,7

Tolerancia d=m6

Medidas indicadas en mm